



TESE DE DOUTORAMENTO

RENDIMIENTO NEUROPSICOLÓGICO EN MÚSICOS PROFESIONALES

Guillermo Rubén Pérez López

ESCOLA DE DOUTORAMENTO INTERNACIONAL

PROGRAMA DE DOUTORAMENTO EN NEUROCIENCIA E PSICOLOXÍA CLÍNICA

SANTIAGO DE COMPOSTELA

2020



D./Dna. **Guillermo Rubén Pérez López**

Título da tese: **Rendimiento neuropsicológico en músicos profesionales**

Presento a miña tese, seguindo o procedemento axeitado ao Regulamento, e declaro que:

- 1) A tese abarca os resultados da elaboración do meu traballo.
- 2) De ser o caso, na tese faise referencia ás colaboracións que tivo este traballo.
- 3) Confirmo que a tese non incorre en ningún tipo de plaxio doutros autores nin de traballos presentados por min para a obtención doutros títulos.

E comprométome a presentar o Compromiso Documental de Supervisión no caso de que o orixinal non estea na Escola.

En **Santiago de Compostela, 07 de Outubro de 2020.**

Sinatura electrónica





AUTORIZACIÓN DO DIRECTOR/TITOR DA TESE

D./Dna. **Marina Rodríguez Álvarez**

En condición de: **Titor/a e director/a**

Título da tese: **Rendimiento neuropsicológico en músicos profesionales**

INFORMA:

Que a presente tese, correspóndese co traballo realizado por D/Dna Guillermo Rubén Pérez López, baixo a miña dirección/titorización, e autorizo a súa presentación, considerando que reúne os requisitos esixidos no Regulamento de Estudos de Doutoramento da USC, e que como director/titor desta non incorre nas causas de abstención establecidas na Lei 40/2015.

En **Santiago de Compostela, 07 de Outubro de 2020**

Sinatura electrónica



DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERESES

D./Dna. **Guillermo Rubén Pérez López,**

Título da Tese: **Rendimiento neuropsicológico en músicos profesionales**

Declaro:

- 1) Non ter ningún conflito de intereses no que respecta ao contido presente nesta Tese doutoral.
- 2) Que o estudo aquí presentado non contén datos de carácter persoal e, polo tanto, non precisa avaliación e informe previo do comité de ética da investigación.
- 3) Que a participación dos suxeitos foi voluntaria, anónima, e que a posibilidade de non participar no mesmo estivo dispoñible en todo momento.

En **Santiago de Compostela, 7 de Outubro de 2020**

Sinatura electrónica



AGRADECIMIENTOS

A veces, la vida te da la oportunidad de conocer a personas que dejan huella y que te permiten alcanzar metas difíciles haciendo más fácil el camino. Por ello, no sería lógico empezar estos agradecimientos con otra persona que no fuera Marina. Ella no solo ha hecho posible que pueda fusionar mis dos grandes pasiones, sino que a través de su gran profesionalidad, su alto grado de compromiso y su apoyo incondicional me ha permitido evolucionar personal y académicamente hacia una mejor versión de mi mismo. El trabajo aquí desarrollado, además, es fruto de una gran inversión de tiempo y esfuerzo conjunto, en donde sus aportaciones han demostrado su gran valía como persona y como docente, haciéndome sentir orgulloso de formar parte de este equipo. Nunca tendré las suficientes palabras para agradeceréte.

Me gustaría también dedicar un agradecimiento especial a Eduardo, quién con su maestría, sus conocimientos y su infinita paciencia, me ha ofrecido inestimables ayudas y sugerencias.

Por supuesto, tengo que dar las gracias también a todos los voluntarios que han participado en esta investigación, especialmente a mis compañeros músicos, con los que comparto la pasión por una disciplina artística que tantas alegrías me ha dado y me seguirá dando siempre.

Naturalmente, gracias a mi familia por estar siempre ahí y apoyarme en todas las aventuras en las me he embarcado. Gracias a mis padres por su amor incondicional, por ser un ejemplo a seguir y por inculcarme el valor del esfuerzo, la perseverancia y el trabajo diario. Gracias a mi hermana por sus ánimos constantes, por saber transformar un día feliz en inolvidable y por enseñarme a disfrutar de los pequeños placeres de la vida. Y gracias a mis abuelos por ser ejemplos de vida, creer en mí sin reservas y tener siempre una sonrisa preparada para regalarme.

Y GRACIAS a Paula, por su generosidad ilimitada, por quererme tal y como soy, por desbordar una alegría contagiosa que ilumina los días más grises, y porque la vida a su lado es, simplemente, maravillosa.



-Sin música, la vida sería un error

Friedrich Nietzsche



A mami y padrino



ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	15
ÍNDICE DE FIGURAS	17
RESUMEN	19
1. INTRODUCCIÓN	23
1.1. Bases neurales del procesamiento musical	24
1.2. Modificaciones neuroestructurales asociadas al entrenamiento musical	35
1.2.1. Sustancia Gris.....	35
1.2.2. Sustancia Blanca	38
1.3. Beneficios neurocognitivos asociados al entrenamiento musical	40
1.3.1. Músicos profesionales	40
1.3.2. Adultos mayores	44
1.3.3. Adolescentes y niños	46
1.4. Variables de influencia en el rendimiento neurocognitivo de los músicos	49
1.4.1. Sexo.....	49
1.4.2. Categoría instrumental	50
1.4.3. Edad de inicio del entrenamiento musical.....	52
2. PLANTEAMIENTO	57
3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	61
3.1. Objetivos	61
3.2. Hipótesis.....	61
4. METODOLOGÍA.....	65
4.1. Participantes.....	65
4.1.1. Músicos	66
4.1.2. No músicos.....	68
4.2. Material.....	68
4.2.1. Cuestionarios de evaluación previa	69
4.2.2. Batería de evaluación neuropsicológica	69
4.3. Procedimiento de recogida de datos.....	78
4.4. Tratamiento y análisis de datos	80

5. RESULTADOS	85
5.1. Análisis de las características de los participantes en el estudio	85
5.2. Análisis del rendimiento neurocognitivo de los músicos.....	85
5.2.1. Atención y Memoria de trabajo	85
5.2.2. Velocidad de procesamiento de la información	86
5.2.3. Memoria y aprendizaje	87
5.2.4. Comprensión verbal.....	87
5.2.5. Razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas	88
5.2.6. Habilidades motoras	88
5.2.7. Funciones ejecutivas	89
5.3. Análisis de las capacidades cognitivas específicas y la capacidad intelectual general de los músicos	91
5.4. Análisis de las diferencias en el rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos en función del sexo.....	92
5.5. Análisis de las diferencias en el rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos en función de la categoría instrumental.....	94
5.6. Análisis de las diferencias en el rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos en función de la edad de inicio del entrenamiento musical.....	95
6. DISCUSIÓN.....	99
7. CONCLUSIONES	133
8. BIBLIOGRAFÍA.....	139
9. ANEXO	179

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Criterios de inclusión generales</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 2. Formaciones musicales muestreadas</i>	<i>66</i>
<i>Tabla 3. Criterios de inclusión específicos para los músicos</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 4. Descripción de la muestra según las variables de control</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 5. Tareas que componen la Batería de Evaluación Neuropsicológica</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 6. Test utilizados y funciones cognitivas que evalúan</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 7. Puntuaciones compuestas obtenidas con la WAIS-IV</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 8. Fases de la recogida de datos</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 9. Orden de aplicación de la Batería de Evaluación Neuropsicológica</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 10. Variables registradas en la Batería Neurocognitiva</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 11. Rendimiento en atención y memoria de trabajo</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 12. Rendimiento en velocidad de procesamiento de la información</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 13. Rendimiento en memoria y aprendizaje</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 14. Rendimiento en comprensión verbal</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 15. Rendimiento en razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 16. Rendimiento en habilidades motoras</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 17. Rendimiento en funciones ejecutivas</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 18. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 19. Rendimiento neurocognitivo del grupo de músicos en función del sexo</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 20. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general del grupo de músicos en función del sexo</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 21. Rendimiento neurocognitivo del grupo de no músicos en función del sexo</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 22. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general del grupo de no músicos en función del sexo</i>	<i>94</i>

<i>Tabla 23. Rendimiento neurocognitivo de los músicos en función de la categoría instrumental</i>	94
<i>Tabla 24. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general de los músicos en función de la categoría instrumental</i>	95
<i>Tabla 25. Rendimiento neurocognitivo de los músicos en función de la edad de inicio del entrenamiento musical</i>	96
<i>Tabla 26. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general de los músicos en función de la edad de inicio del entrenamiento musical</i>	96



ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Modelo de procesamiento modular de la música</i>	<i>25</i>
<i>Figura 2. Giro temporal superior derecho</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3. Área de Broca.....</i>	<i>28</i>
<i>Figura 4. Sistema supramodal de temporización</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5. Áreas implicadas en el ritmo musical.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 6. Secuenciación motora</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7. Córtex premotor.....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8. Sistema emocional subcortical.....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 9. Sistema emocional cortical</i>	<i>34</i>
<i>Figura 10. Rendimiento neurocognitivo diferencial entre músicos y no músicos.....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 11. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general.....</i>	<i>91</i>



RESUMEN

Los músicos profesionales constituyen uno de los grupos poblacionales que más tiempo dedican a la adquisición y práctica de un amplio abanico de habilidades cognitivas sofisticadas. Teniendo este aspecto en consideración, la literatura se ha interesado en estudiar los beneficios neurocognitivos que pueden presentar frente a sus homólogos no músicos. A este respecto, en las últimas décadas se han aportado evidencias de beneficios cognitivos específicos y de adaptaciones neuroplásticas ventajosas generalizadas, sin embargo, la variabilidad de los diseños y ciertos aspectos metodológicos hace que estos estudios requieran replicación.

Es por ello que en esta investigación nos planteamos profundizar en el rendimiento neuropsicológico de músicos profesionales, para contribuir a un mayor conocimiento de los beneficios neurocognitivos asociados al entrenamiento musical. Con este objetivo, reclutamos una muestra de 50 músicos y 50 no músicos a los que realizamos, en primer lugar, una valoración previa de aspectos sociodemográficos, clínicos y de la historia musical. En una segunda fase, llevamos a cabo una evaluación neuropsicológica mediante la aplicación de una batería de pruebas diseñada *ad hoc* para esta investigación.

Los resultados han puesto de manifiesto que los músicos profesionales presentan un mejor rendimiento que sus homólogos no músicos en atención y memoria de trabajo; velocidad de procesamiento de la información; memoria y aprendizaje; comprensión verbal; razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas; habilidades motoras; en los componentes ejecutivos de control inhibitorio y fluidez verbal, así como en la capacidad intelectual general. Estos beneficios, asociados al entrenamiento musical, se han observado en todas las funciones evaluadas, exceptuando aquellas que requieren flexibilidad cognitiva y capacidad de planificación, en las que obtienen el mismo rendimiento que los no músicos. Por otra parte, hemos apreciado un rendimiento diferencial en función del sexo, con ventaja femenina en velocidad de procesamiento y masculina en tareas de velocidad y control psicomotor bimanual, sin embargo, éste es independiente tanto de la especialidad instrumental que desarrollan, como de la edad a la que comienzan su entrenamiento musical.

Los beneficios cognitivos y neuroestructurales descritos en los músicos profesionales, podrían estar relacionados con el desarrollo, a largo plazo, de las distintas habilidades requeridas por el entrenamiento musical. Planteamos el interés de continuar investigando en esta línea para contribuir a una mayor comprensión de los beneficios de la práctica musical en la plasticidad cerebral y el funcionamiento neurocognitivo. Así mismo, consideramos de relevancia la posible aplicabilidad de estos resultados, tanto para el desarrollo de la carrera profesional de los músicos, como para la adaptación curricular de la enseñanza obligatoria y la intervención clínica mediante el diseño de programas específicos de musicoterapia.





INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

La música ha ocupado siempre un lugar preferente en todas las culturas y sociedades desde la más remota antigüedad. De hecho, el instrumento más antiguo descubierto hasta la fecha es una flauta construida a partir del hueso de un buitre hace, aproximadamente, unos 40.000 años (Conard et al., 2009). Sin embargo, si ya en el paleolítico superior eran capaces de fabricar un instrumento tan tecnológicamente avanzado como una flauta, es muy probable que ya los primeros *Homo Sapiens*, hace 100.000 – 200.000 años, fueran capaces de crear música utilizando tambores y birimbao en todo tipo de ceremonias y rituales (Koelsch, 2012). Esto hace de la música uno de los rasgos sociocognitivos más antiguos y básicos de la especie humana (Koelsch et al., 2005).

Algunos autores plantean que estas habilidades musicales realizaban funciones sociales de gran importancia evolutiva como la comunicación, coordinación grupal o la cohesión social (Cross & Morley, 2010; Koelsch, 2010), por lo que no es de extrañar que la música cumpliera un papel filogenético clave para el desarrollo del lenguaje hablado (Koelsch et al., 2005; Wallin et al., 2001). Además, esta preponderancia filogenética viene acompañada de un diseño ontogenético del ser humano que facilita la audición de los sonidos. De hecho, el oído es el primer órgano en terminar de formarse, permitiendo que los bebés sean sensibles a melodías y ritmos incluso desde la etapa intrauterina (Moon et al., 1993). Por otro lado, los primeros pasos de los niños en el lenguaje se basan en información prosódica, por lo que la comunicación musical en la primera infancia también parece desempeñar un papel fundamental para el desarrollo emocional, cognitivo y social (Trehub, 2003).

Desde muy temprano, por tanto, nos vemos inmersos en un mundo lleno de sonidos, ritmos y melodías, que nos permiten desarrollar habilidades sofisticadas de decodificación, procesamiento y comprensión de información musical, aún sin estar entrenados para ello (Koelsch, 2011). Es por esta razón que la música está considerada como un lenguaje universal (Da Silva et al., 2013; de Deus & da Silva Duarte, 1997) y que la musicalidad es una habilidad natural del cerebro humano. Además, la música nos afecta de manera profunda, ya que tanto escuchar como producir música suponen la intercomunicación de múltiples sistemas sensoriales e implican una mezcla de prácticamente todas las funciones cognitivas humanas (C. E. Schneider, 2018; Singh & Balasubramanian, 2018).

Gran parte de estos recursos cognitivos son necesarios para llevar a cabo el análisis coordinado de los distintos elementos básicos que componen la compleja estructura musical. Según sus características acústicas, estos elementos podrían clasificarse, en términos generales, en señales de tipo “melódico”, como el tono, timbre, intervalo, contorno, intensidad, disonancia o armonía, y de tipo “rítmico”, como la duración, ritmo, compás o tempo (en el Anexo I se

incluye un glosario de términos musicales para facilitar la comprensión de estos conceptos). El procesamiento de todos estos atributos musicales se convierte en una tarea tremendamente exigente para el cerebro humano, hecho que convierte a la música en una herramienta ideal para indagar en la estructura y la función cerebral.

Los inicios de la investigación sobre los efectos neurocognitivos de la música se remontan a finales del siglo XIX, cuando el médico francés Jean-Baptiste Bouillaud registró varios casos de deficiencias en la comprensión de los diferentes atributos musicales, resultantes de las lesiones cerebrales de personas de su tiempo (Andrade, 2004). Posteriormente, el neurólogo alemán Siegmund Auerbach, también se dedicó a estudiar “post mortem” las peculiaridades de cerebros de músicos destacados (Auerbach, 1906). Más recientemente, con el desarrollo de técnicas como la Resonancia Magnética Funcional se han podido obtener imágenes de alta resolución del cerebro en vivo, permitiendo determinar si los individuos con habilidades musicales exhiben algún tipo de especialización o diferenciación neuroanatómica. En esta línea, sin duda, los músicos profesionales constituyen un modelo ideal para el estudio de los cambios anatomofuncionales generados por el entrenamiento musical, ya que su relación con esta disciplina artística es intensa y constante desde edades muy tempranas.

1.1. BASES NEURALES DEL PROCESAMIENTO MUSICAL

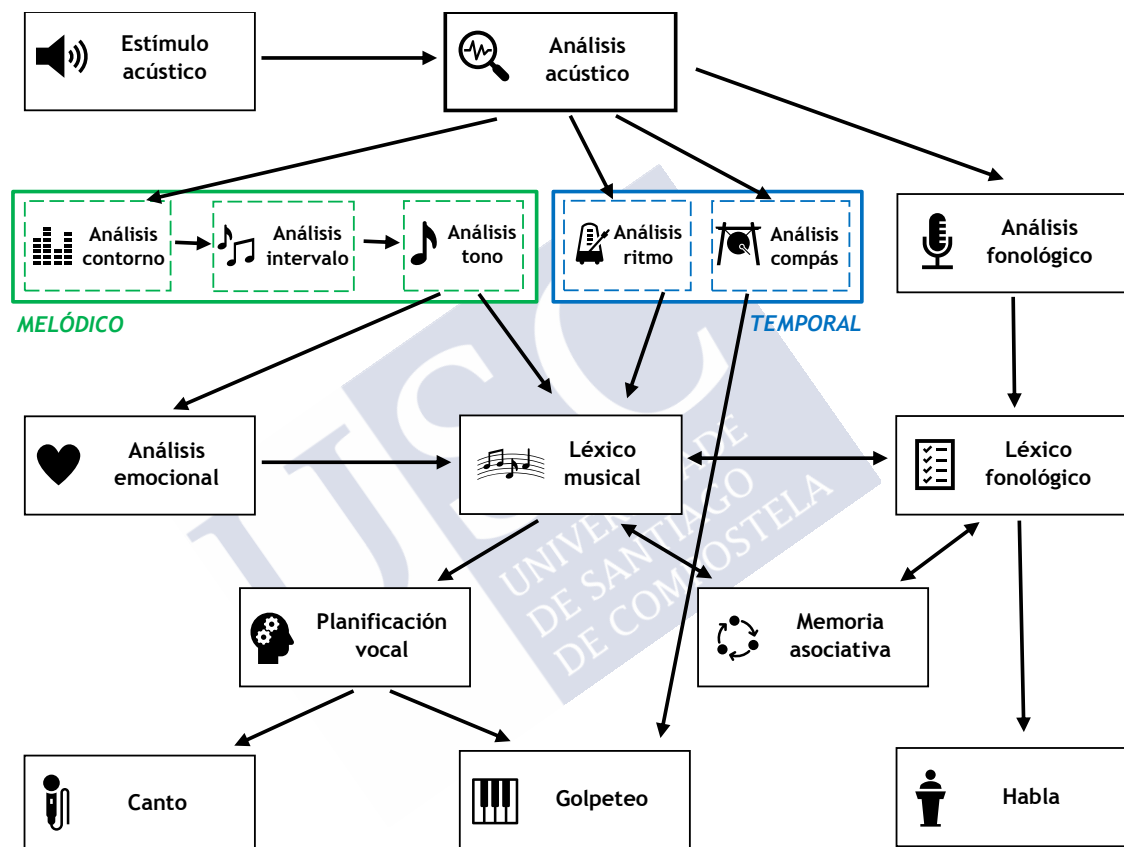
El interés por conocer las áreas, los procesos y los mecanismos neurales que subyacen a nuestras interacciones con la música se ha incrementado de forma notable en los últimos años. Como expondremos a continuación, el procesamiento musical es complejo e involucra un amplio abanico de regiones tanto corticales como subcorticales. Para poder organizar adecuadamente esta información, en primer lugar, haremos referencia a uno de los modelos neurales más aceptado en la actualidad para describir cómo nuestro cerebro procesa la música y en segundo lugar, profundizaremos en las redes y áreas implicadas tanto en la percepción como en la producción musical.

Para desarrollar el **modelo neural del procesamiento musical**, tenemos que comenzar indicando que el procesamiento musical se inicia en el momento en que un sonido alcanza el tímpano. A partir de ahí se va transformando en una compleja cascada de eventos mecánicos, químicos y neurales que aterrizan finalmente en la corteza cerebral, donde distintas áreas encefálicas llevan a cabo el procesamiento de sus componentes. Según la teoría modular de la mente (Fodor, 1983), el procesamiento de la información que recibimos en nuestro cerebro se llevaría a cabo mediante módulos, los cuales contarían con unas características básicas: especificidad neuronal; “empaquetamiento” de la información; especificidad para una determinada área cognitiva; procesamiento automático; rapidez y, en algunos casos, carácter innato. El procesamiento de la música podría cumplir estos requisitos y ser modular, ya que, la

presencia de alteraciones selectivas de los componentes musicales apoyaría esta hipótesis (Di Pietro et al., 2004; Peretz, 2006).

El primer modelo cognitivo del procesamiento musical lo propuso August Knoblauch (1836-1919), conocido médico y anatomista alemán, pero el modelo más extendido actualmente es el propuesto por Peretz & Coltheart (2003), desarrollado a partir de las observaciones de pacientes con daño cerebral y basado en melodías monofónicas (Figura 1).

Figura 1: Modelo de procesamiento modular de la música



Nota: cada elemento representa un componente del procesamiento musical y las flechas dibujan las rutas de flujo de la información entre los diversos componentes de procesamiento.

Fuente: modificado de Peretz & Coltheart (2003).

Según estos autores, como se puede apreciar en la Figura 1, cuando escuchamos una canción se genera una entrada acústica, un estímulo compuesto por aferencias tonales, rítmicas, líricas... que entra por la vía sensorial para ser procesada mediante un primer módulo general de análisis acústico. Desde ahí, el sistema de procesamiento del lenguaje se encargaría del análisis de la letra de la canción, mientras que el componente musical sería analizado mediante dos subsistemas que operan de modo independiente y en paralelo: el *subsistema melódico*, que se encargaría del procesamiento de la melodía a través del análisis del contorno y posteriormente

del intervalo para llevarnos a la codificación del tono y el *subsistema temporal*, que se encargaría del procesamiento del tiempo mediante el análisis del ritmo y de la métrica o compás.

La información resultante de ambos subsistemas se enviaría al léxico musical, que es el almacén donde guardamos toda la información musical que vamos recibiendo a lo largo de nuestra vida. Este almacén nos proporcionaría el reconocimiento, si fuera el caso, de esa canción (Peretz et al., 2009). El léxico musical también englobaría la memoria musical, de forma que cuando el léxico musical está dañado, no sólo no se podrían reconocer melodías familiares sino que tampoco sería posible grabar las nuevas.

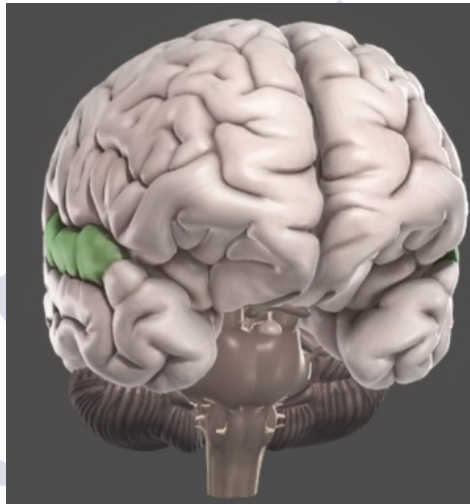
La salida del léxico musical puede activar distintos módulos: a) léxico fonológico (entrada y salida) para la recuperación de las letras de las melodías; b) programación vocal (fonología y articulación) para el canto; c) funciones motoras para la ejecución musical y d) memorias asociativas multimodales para la recuperación de material no musical (título de la obra, contexto de un concierto, emociones relacionadas con una melodía, recuerdo de un viaje realizado...). En cuanto a la ruta emocional, se ha sugerido que es independiente del análisis no emocional de la música, por lo que sería susceptible de verse comprometida por un daño selectivo (Koelsch, 2014; Zatorre, 1984).

Resulta esencial disponer de modelos teóricos basados en la evidencia científica que identifiquen los componentes implicados en el procesamiento musical, así como conocer sus posibles interacciones, y, en este sentido, el modelo de Peretz & Coltheart (2003) es un modelo que refleja muy bien los aspectos del procesamiento de la música, además se ha validado con bases neurocientíficas mediante estudios de Tomografía por Emisión de Positrones (PET) y Resonancia Magnética Funcional (RMf) (Groussard, Viader, et al., 2010; Loui & Schlaug, 2009; Salimpoor et al., 2011).

Una vez revisado el modelo más extendido sobre el procesamiento modular de la música, pasaremos a describir más en detalle la forma en cómo nuestro cerebro lleva a cabo la **percepción musical**. Esta percepción comenzaría en las estructuras subcorticales de forma que, una vez que la información acústica se convierte en impulsos neurales a nivel coclear, el mesencéfalo dividiría esa actividad neural en diferentes atributos musicales (tono, timbre, intensidad...) y la enviaría al tálamo, que sería el encargado de distribuir estos componentes hacia la corteza auditiva primaria situada en los lóbulos temporales (Izquierdo et al., 2009; Levitin, 2006; Singh & Balasubramanian, 2018). Dentro de las cortezas auditivas, las proyecciones serían jerárquicas y hacia fuera, de manera que la propia corteza auditiva primaria sería la encargada del procesamiento de características musicales básicas como el tono y el volumen; la corteza auditiva secundaria se enfocaría en patrones armónicos, melódicos y rítmicos y, finalmente, la corteza auditiva terciaria integraría estos patrones en una percepción general de la música (Abbott, 2002; Zatorre & Salimpoor, 2013).

Profundizando un poco más y según hemos visto en el modelo modular de Peretz & Coltheart (2003), un *subsistema melódico* procesaría, en primer lugar, información sobre el contorno de una melodía y seguidamente información sobre los intervalos para llegar a codificar los tonos. A este respecto, los resultados de las investigaciones señalan que cuando los oyentes dependen sólo del contorno para discriminar una melodía, el giro temporal superior derecho juega un papel crítico (Figura 2) mientras que cuando la información sobre el contorno no está disponible y se requiere información sobre los intervalos para codificar los tonos, los lóbulos temporales de ambos hemisferios parecen estar implicados (Ayotte et al., 2000; Peretz & Zatorre, 2005; Vignolo, 2003), lo que nos puede dar una visión del papel más analítico que llevaría a cabo el hemisferio izquierdo.

Figura 2. Giro temporal superior derecho



Nota: área crítica implicada en el procesamiento del contorno melódico.

Fuente: modificación con base en la aplicación gratuita 3D Brain (Cold Spring Harbor Laboratory).

Podríamos hacer también una división en cuanto al eje antero-posterior del córtex auditivo ya que, según la mayoría de estudios, parece que las regiones más posteriores estarían implicadas en el procesamiento de la altura de las notas, mientras que las regiones anteriores serían importantes para las variaciones de altura entre las diferentes notas de una melodía (J. D. Warren et al., 2003). También se ha podido observar, gracias a técnicas de neuroimagen, la implicación de áreas posteriores del córtex auditivo secundario en operaciones implicadas en el procesamiento de la melodía mientras ésta va cambiando, especialmente si estos cambios son pequeños (Hall et al., 2002; Hart et al., 2003; Thivard et al., 2000).

En cuanto al procesamiento de elementos musicales como las escalas, las evidencias apoyan la existencia de redes neurales que están especializadas en el procesamiento de las estructuras de las escalas dentro de las melodías, pero sus localizaciones aún no han sido determinadas (Janata et al., 2002). Con respecto al procesamiento de acordes, decir que existen

pocos estudios al respecto, algunos de los cuales indican que la percepción de las relaciones tonales en los acordes funciona de modo similar a la percepción de los intervalos entre notas sucesivas, aunque la adquisición de la jerarquía armónica aparecería más tarde en el desarrollo, en torno a los 5 años (Koelsch, Grossmann, et al., 2003; Trainor & Trehub, 1992).

Hay dos últimas características musicales que, debido a su singularidad, han sido algo más estudiadas que el resto. Se trataría de las desviaciones de expectativas armónicas y de las disonancias. Nuestra formación y nuestra cultura nos permiten predecir las posibles rutas futuras que tomará una secuencia musical, de este modo, cuando una melodía no satisface nuestro esquema cultural, nos resulta extraño y nos sentimos incómodos, puesto que suena algo que no esperábamos. Esto es a lo que nos referimos cuando hablamos de desviaciones de expectativas armónicas. Vienen determinadas culturalmente y sus correlatos neurales parecen estar situados en áreas frontales inferiores bilaterales (opérculo frontal y área de Broca en el hemisferio izquierdo) (Koelsch et al., 2002; Maess et al., 2001; Regnault et al., 2001; Tillmann et al., 2003) (Figura 3). En cuanto a la disonancia, fenómeno que se da cuando la producción de varios sonidos nos resulta *desagradable* al oído, las evidencias nos indican que su procesamiento se llevaría a cabo en el giro temporal superior bilateralmente, concretamente en el giro de Heschl (Fishman et al., 2001).

Figura 3. Área de Broca



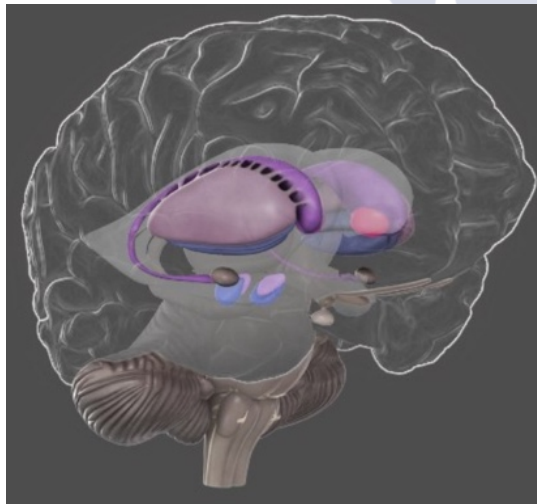
Nota: área implicada, junto con el opérculo frontal inferior derecho, en el procesamiento de las desviaciones de expectativas armónica.

Fuente: modificación con base en la aplicación gratuita 3D Brain (Cold Spring Harbor Laboratory).

Por otro lado, en lo que respecta al *procesamiento temporal*, existen evidencias neurocognitivas que apoyan un procesamiento diferenciado para el ritmo y el compás, de forma que el hemisferio izquierdo se ocuparía del agrupamiento temporal mientras que el hemisferio derecho controlaría mejor el metro (Di Pietro et al., 2004; Vignolo, 2003). También se ha observado la

implicación del córtex auditivo derecho, puesto que pacientes con lesiones en el giro temporal superior derecho no eran capaces de mantener un pulso rítmico constante, aunque si podían reproducir patrones rítmicos irregulares (Fries & Swihart, 1990; S. J. Wilson et al., 2002). La representación cerebral en lo que respecta al procesamiento temporal parece ser elevada (Foxton et al., 2006; Peretz, 1990), de hecho, además de las áreas auditivas, estaría involucrado un sistema supramodal de temporización integrado por el cerebelo y los ganglios basales (Janata & Grafton, 2003; Penhune et al., 1998; Penhune & Doyon, 2002) (Figura 4), la corteza premotora dorsal, el área motora suplementaria (AMS) y el córtex parietal (Halsband et al., 1993) (Figura 5). Todas estas áreas estarían implicadas también en la producción rítmica, lo que indica la presencia de un fuerte componente motor en la representación mental del ritmo musical (J. Chen et al., 2006; Grahn & Brett, 2007; Janata & Grafton, 2003; Sakai et al., 1999). A la vista de estas evidencias, algunos estudios han planteado la existencia de fuertes interacciones entre el sistema auditivo y el motor para el análisis del ritmo, que están presentes no sólo durante la producción musical, sino también cuando escuchamos música o la imaginamos (J. L. Chen et al., 2006; Penhune et al., 1998; Soria-Urios et al., 2011).

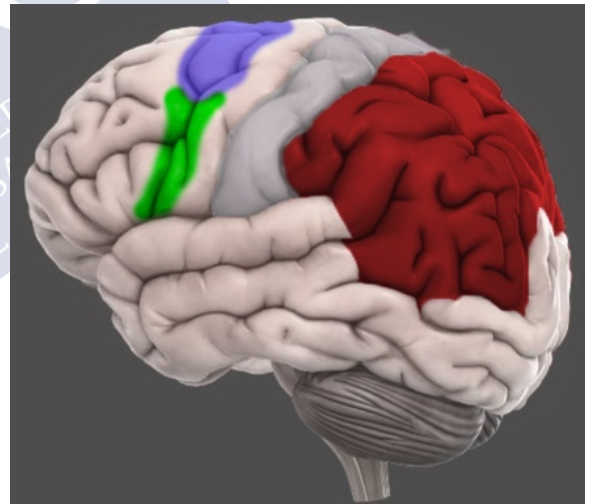
Figura 4. Sistema supramodal de temporización



Nota: ganglios basales (malva) y cerebelo (marrón).

Fuente: modificación con base en la aplicación gratuita 3D Brain (Cold Spring Harbor Laboratory).

Figura 5. Áreas implicadas en el ritmo musical



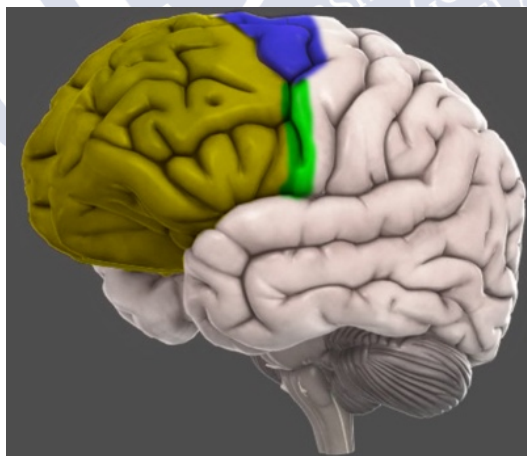
Nota: córtex premotor dorsal (verde), AMS (azul) y córtex parietal (rojo).

Una vez adquirida una visión general de cómo se llevaría a cabo la percepción musical en nuestro cerebro, pasaremos ahora a describir las claves fundamentales de la **producción musical**. En primer lugar debemos destacar que tanto la percepción como la producción musical están estrechamente relacionadas (Geethanjal et al., 2018; Koelsch, 2011; Stewart, 2008; Zatorre et al., 2007), basta con observar que las áreas motoras de los pianistas se activan con el

simple hecho de escuchar la interpretación de otros pianistas profesionales, lo que reflejaría un mecanismo importante para la imitación y el aprendizaje (Haueisen & Knösche, 2001).

La interpretación de la música combina diferentes y rápidas tareas motoras con elaboradas operaciones cognitivas. En concreto, de cara a la ejecución de una pieza musical suelen diferenciarse tres componentes básicos: la *interpretación conceptual* de la obra, la *planificación de la actuación* y la *generación de los movimientos* pertinentes (Zatorre et al., 2007). En cuanto a los dos primeros componentes, para trasladar la interpretación y el plan de producción de una obra a una actuación final, son necesarios tres controles motores básicos; *coordinación*, que implica una buena organización del ritmo musical, *secuenciación* y *organización espacial del movimiento* (Vaquero et al., 2016; Zatorre et al., 2007), lo cual permite que un músico pueda llegar a tocar las distintas notas en su instrumento (Gabrielsson, 1999; Palmer, 1997). En cuanto a los correlatos neuroanatómicos de estos tres componentes, la coordinación y secuenciación motora parecen estar relacionadas con el cerebelo, los ganglios basales, el área motora suplementaria (AMS) y el córtex premotor dorsal, además, la secuenciación parece también implicar al córtex prefrontal (Figura 6). Por último, la organización espacial de los movimientos para tocar un instrumento implicaría la integración de información espacial, sensorial y motora, incrementando, por tanto, la activación del córtex parietal, sensoriomotor y premotor (Zatorre et al., 2007).

Figura 6. Secuenciación motora



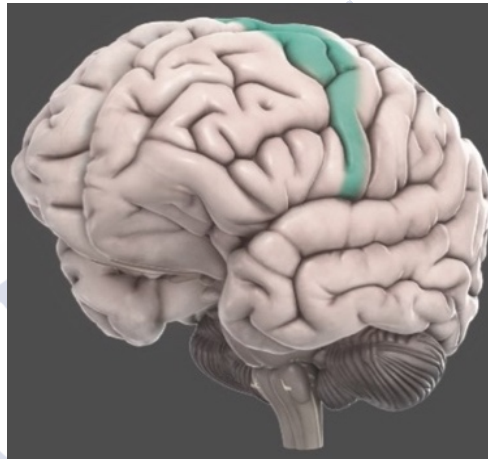
Nota: córtex prefrontal (amarillo), AMS (azul) y córtex premotor dorsal (verde).

Fuente: modificación con base en la aplicación gratuita 3D Brain (Cold Spring Harbor Laboratory).

La integración de estos tres tipos de información, que se produce también cuando escuchamos música, resulta fundamental para poder ejecutar correctamente los movimientos cuando tocamos un instrumento musical. Unas de las interacciones más estudiadas son las que se producen entre el sistema auditivo y el sistema motor (auditivomotoras), diferenciándose dos tipos: la *proalimentación*, a través de la cual el sistema auditivo lleva a cabo una actuación predictiva y la *retroalimentación*, mediante la cual al tocar o cantar, los músicos serían capaces

de realizar los reajustes necesarios en sus actos motores (Large & Palmer, 2002). Los correlatos de activación neural han evidenciado que el nexo de unión entre estos dos sistemas sería el córtex premotor (Figura 7), que cuenta con tres regiones diferenciadas que se encargarían de procesar distintos componentes. Por un lado la *parte ventral*, junto con regiones del giro inferoposterior, sería importante para el procesamiento de sonidos relacionados con el acto motor, teniendo en cuenta que para que este proceso se lleve a cabo es necesario tener identificada una relación sonido-acción (Zatorre et al., 2007). Por otro lado la *parte dorsal* estaría implicada en la extracción de información temporal y, la *parte medial*, junto con el área somatosensorial y el IV lóbulo del cerebelo se activaría con sonidos no asociados a acciones motoras, es decir, lo que entendemos por escucha pasiva (J. L. Chen et al., 2008).

Figura 7. Córtex premotor



Nota: nexo de unión entre el sistema auditivo y el motor.

Fuente: modificación con base en la aplicación gratuita 3D Brain (Cold Spring Harbor Laboratory).

Por último, como exponente máximo de las integraciones entre los sistemas auditivo, visoespacial y motor, tenemos la lectura de partituras musicales. Esta lectura musical requiere del procesamiento de gran cantidad de información (tono y duración de las notas, clave y compás, anticipación sonora y generación de un plan motor), por lo que es lógico pensar entonces que la activación cortical sería amplia e incluiría la participación de regiones temporooccipitales para el control del tono y factores visoespaciales que permitirían la correcta ejecución motora de las notas que se están leyendo (Midorikawa et al., 2003; Schön et al., 2002; Sergent et al., 1992). Además, el córtex parietal superior también se activaría en respuesta a la integración de información visual y auditiva (Sergent et al., 1992).

Esta amplitud de activación, sin embargo, no sería capaz por si sola de explicar de forma integral el fenómeno de interpretación de la música, pues es algo mucho más complejo. Por un lado, el sistema de notación musical es relativamente ambiguo, permitiendo una buena dosis de libertad en la interpretación. Por otro lado, hay procesos implicados como la memoria, la

imaginación o los factores emocionales entre otros, que nos permitirán a los oyentes diferenciar entre intérpretes mediocres y genios de la música. Sólo necesitamos pararnos a escuchar y disfrutar de sus capacidades para emocionarnos mientras ejecutan una misma partitura musical, a través de la cual nos demostrarán su capacidad creativa.

Además de todos los componentes descritos anteriormente, en el procesamiento musical también intervienen la memoria, la imaginación e incluso la emoción musical. En primer lugar, la implicación de la **memoria** en el procesamiento musical es crucial no sólo porque la música se desarrolla en largos períodos de tiempo, sino también porque la música está altamente estructurada y requiere la contribución de diferentes campos de conocimiento (análisis musical, pautas estilísticas de la época, historia de la música...). Hoy en día sigue existiendo un largo debate sobre si son más importantes los elementos melódicos o los temporales de cara al recuerdo de una melodía, pero sobre lo que si parece haber acuerdo es que el timbre, las variaciones en intensidad o la velocidad de reproducción serían secundarios (Cánovas et al., 2008). En lo que respecta a los dos grandes tipos de memoria, por un lado la memoria de trabajo sería indispensable, por ejemplo, para retener un estímulo acústico y poder relacionarlo con otro que ocurrirá más tarde. Este tipo de memoria implicaría áreas frontales (dorsolateral e inferior) interaccionando con áreas temporales posteriores (Griffiths et al., 1999; Zatorre et al., 1994), dentro de las cuales el córtex auditivo derecho sería el más importante (Zatorre & Samson, 1991). La implicación de este córtex en la memoria de trabajo sería mayor cuando se requiere una memoria de *alta capacidad* como sería, por ejemplo, retener una nota en la memoria mientras otras notas están presentes (Gaab et al., 2003; Zatorre et al., 1994). A la vista de esta información podríamos considerar la memoria de trabajo para tonos como un subsistema especializado dentro del marco general de la memoria de trabajo. En la memoria a largo plazo se situaría el léxico musical, que contiene las memorias asociativas y un registro de la información musical recibida durante nuestra vida. Las memorias asociativas nos permitirían, por ejemplo, relacionar distintas piezas musicales con situaciones o eventos particulares que nos hayan sucedido. Por otro lado, el registro de la información musical vital constituiría una verdadera discografía personal, que contaría con características propias de la cultura en la que nos hallemos inmersos (Custodio & Cano-Campos, 2017).

Una forma de comprobar la naturaleza de las representaciones almacenadas en nuestra memoria sería estudiar la **imagería musical**, que sería la capacidad de imaginar música o atributos musicales en ausencia de sonidos reales. Las interacciones entre el córtex frontal y el auditivo serían fundamentales para llevar a cabo este proceso, de hecho, cuando intentamos acordarnos de una obra musical activamos el córtex frontal y, simultáneamente, el auditivo nos permite diferenciar entre sonido real y el imaginado (A. R. Halpern, 2003; Zatorre et al., 2002; Zatorre & Halpern, 2005). En cuanto a la lateralización hemisférica se ha visto también que

cuando imaginamos piezas bien conocidas por nosotros, incluida la letra, al imaginarla la activación hemisférica es bilateral ya que estaríamos implicando los componentes melódico y verbal conjuntamente (Zatorre et al., 1994). Por otro lado, cuando se trata de imaginar música instrumental se activaría el córtex auditivo derecho, relacionado, como ya hemos indicado, con el procesamiento del tono (A. R. Halpern, 2003). Es de interés señalar que se activan las mismas áreas cerebrales cuando percibimos o realizamos sonidos que cuando los imaginamos (A. R. Halpern, 2003; Zatorre & Halpern, 2005). En estudios con músicos profesionales se ha podido observar la activación de los lóbulos frontales, cerebelo, lóbulo parietal y AMS durante los procesos de subvocalización e imaginación motora (Langheim et al., 2002). Además, las áreas auditivas también se encuentran activas durante la imaginación, produciéndose una integración auditivomotora durante todo el proceso.

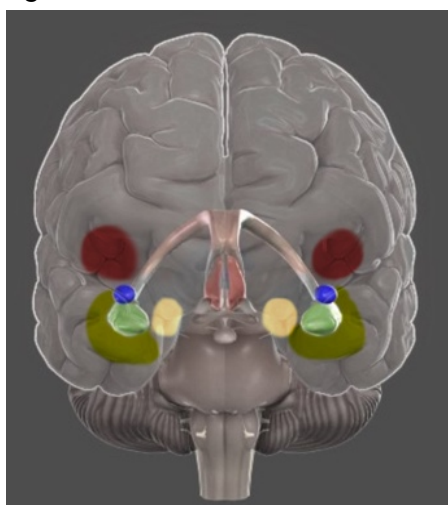
La música no está sólo destinada a la percepción, la imaginación o al recuerdo de las melodías sino que está concebida para emocionarnos, de hecho, hay definiciones que basan su discurso en la alta capacidad de la música como agente evocador de **emociones** (Soria-Urios et al., 2011). La respuesta emocional asociada a la música es de carácter universal y está presente en todas las culturas, constituyéndose como un elemento clave en las interacciones humanas (Fritz et al., 2009; Koelsch, 2010). Las investigaciones realizadas, señalan la existencia de tres características estructurales básicas de las melodías, que permiten el reconocimiento emocional por parte del cerebro: la modalidad (mayor/menor), el tiempo (rápido/lento) y los patrones de tensión-distensión musical (proporción de acordes consonantes/disonantes). Por un lado se ha podido observar que una modalidad mayor y/o un tiempo rápido se asociarían a emociones de felicidad mientras que modos menores y/o tiempos lentos evocarían tristeza (Khalfa et al., 2005, 2008; Lundqvist et al., 2009; Singh & Balasubramanian, 2018). Por otro lado una proporción alta de acordes disonantes en una melodía no sólo haría que la música se percibiese como disonante (Gabrielsson & Lindström, 2001; Trainor, 2008), sino que provocaría una respuesta de evitación. Esta respuesta aversiva contrastaría con la generada por los modos menores y/o los tiempos lentos, que, aún siendo también respuestas negativas, tendrían un carácter melancólico enfocado a la aproximación (Khalfa et al., 2008).

Los correlatos neuroanatómicos de los procesos emocionales derivados de la música, incluyen un *sistema subcortical* que implicaría áreas del sistema límbico como la amígdala, el hipocampo y el giro parahipocampal (Figura 8). La activación de estas áreas se incrementaría ante la escucha de melodías disonantes o negativas y bajarían su actividad ante música positiva (Gosselin et al., 2007; Koelsch, 2010). De hecho existen casos de pacientes que, debido a una escisión del lóbulo temporal medial derecho, incluida la amígdala, no son capaces de reconocer señales de peligro a partir de la música (Gosselin et al., 2007). La escucha de música positiva provocaría, además, un aumento en la activación de regiones como el núcleo accumbens o la ínsula anterior (Koelsch et al., 2006; Menon & Levitin, 2005) (Figura 8). Estas estructuras,

junto con el córtex cingulado, están consideradas como las responsables de las emociones básicas para la supervivencia, activándose ante estímulos reforzantes como la comida (D. M. Small et al., 2001) o las drogas (Breiter et al., 1997).

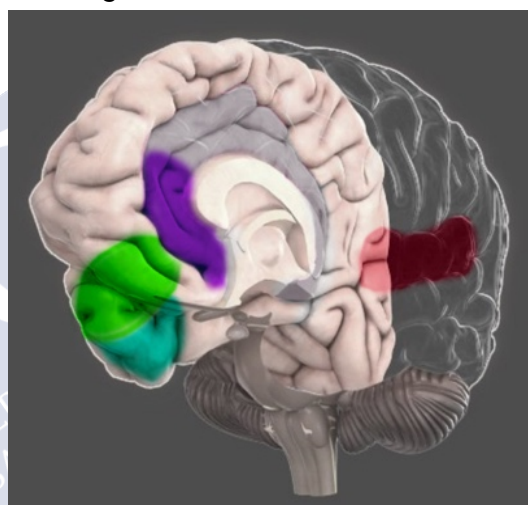
Además de este sistema subcortical, también están implicadas *estructuras corticales* como el córtex cingulado anterior, córtex orbitofrontal, córtex prefrontal ventromedial y córtex temporal superior (Koelsch et al., 2006; Plichta et al., 2011) (Figura 9), que estarían conectados con el sistema subcortical. Por ejemplo, la amígdala y el córtex orbitofrontal cuentan con conexiones recíprocas y, a su vez, están conectados con representaciones corticales de todas las modalidades sensoriales, por lo que también integrarían información sensorial

Figura 8. Sistema emocional subcortical



Nota: amígdala (azul), hipocampo (verde claro), giro parahipocampal (verde oscuro), núcleo accumbens (amarillo), ínsula anterior (rojo).

Figura 9. Sistema emocional cortical



Nota: córtex cingulado anterior (violeta), córtex orbitofrontal (azul), córtex prefrontal ventromedial (verde) y córtex temporal superior (rojo).

Fuente: modificación con base en la aplicación gratuita 3D Brain (Cold Spring Harbor Laboratory)

Recapitulando lo expuesto, podemos decir que tanto percibir como interpretar música requieren la activación de una amplia red encefálica que implica estructuras corticales y subcorticales de ambos hemisferios cerebrales. Esto no es de extrañar, ya que las actividades musicales son numerosas, complejas y diversas (Tramo, 2001). De hecho, la interpretación musical requiere de un entrenamiento multimodal que implica el desarrollo e integración de habilidades motoras, auditivas y visoespaciales, reguladas bajo un estricto control ejecutivo. Además, la presencia de un alto contenido emocional transforma la práctica musical en una experiencia agradable y motivadora, hecho que facilita que los músicos sean uno de los grupos poblacionales que más tiempo dedican a la adquisición de un amplio abanico de habilidades cognitivas sofisticadas. Es por ello que, teniendo en cuenta que el aprendizaje y la experiencia pueden actuar como generadores neuroplásticos (Boyke et al., 2008; Draganski et al., 2004; Draganski & May,

2008; Golestani & Zatorre, 2004; Maguire et al., 2000), parece lógico que los músicos profesionales, acostumbrados a realizar un exhaustivo entrenamiento musical desde muy corta edad, puedan contar con adaptaciones neuroestructurales específicas.

1.2. MODIFICACIONES NEUROESTRUCTURALES ASOCIADAS AL ENTRENAMIENTO MUSICAL

Teniendo en cuenta que el procesamiento musical cuenta con una amplia representación encefálica, tal y como se ha expuesto, la búsqueda de la neuroplasticidad inducida por la música ha evolucionado en las últimas décadas desde una investigación de la estructura y función en áreas específicas, como las cortezas auditivas o motoras primarias, hasta una búsqueda que abarca todo el cerebro. En este sentido, las investigaciones en las que se compara la arquitectura neural de músicos y no músicos han evidenciado diferencias sustanciales en tamaño, forma, densidad y conectividad que se presentan en todo el cerebro del músico, y especialmente en las regiones frontal, motora y auditiva (Merrett & Wilson, 2011). No es de extrañar, por tanto, que la música haya sido denominada el *alimento de la neurociencia*, ya que proporciona un modelo poderoso de cómo el cerebro puede cambiar en respuesta al medio ambiente.

A continuación, describiremos las principales diferencias neuroestructurales entre músicos y no músicos evidenciadas por la literatura. En primer lugar, informaremos sobre los cambios más relevantes encontrados en distintas áreas encefálicas integradas por materia gris para, a continuación, detallar las modificaciones más importantes observadas con respecto a la sustancia blanca.

1.2.1. Sustancia Gris

El análisis de las diferencias en el volumen encefálico *cortical* entre músicos profesionales y no músicos cuenta con una evidencia más amplia que el estudio de las modificaciones subcorticales. Así mismo, la mayor parte de los trabajos que estudian la arquitectura cortical, se han centrado en analizar regiones específicas asociadas básicamente al procesamiento motor y auditivo. En este sentido, las investigaciones de Bermudez et al. (2009), Gaser & Schlaug (2003) y James et al. (2014), destacan por examinar un mayor número de regiones cerebrales corticales. En primer lugar, el trabajo de Bermudez et al. (2009) resalta la importancia de la red neuronal fronto-temporal desarrollada por los músicos profesionales, evidenciando un mayor grosor cortical en áreas temporales como el giro de Heschl, plano temporal o los giros temporales inferior y medio, implicados, como hemos visto, en el procesamiento acústico y visual de los distintos elementos musicales. Así mismo, observaron un aumento de volumen en el giro frontal inferior, encargado del procesamiento sintáctico musical y en el córtex prefrontal dorsolateral, relacionado con la memoria de trabajo. Por último, estos autores evidenciaron un mayor tamaño en el área motora suplementaria y en las cortezas motora y somatosensorial primarias, asociado a un mejor rendimiento motor de los músicos profesionales.

Por otro lado, Gaser & Schlaug (2003) encontraron un aumento de volumen de materia gris no sólo en áreas auditivas y motoras sino también en regiones visoespaciales. Según estos autores, estas adaptaciones estructurales serían una respuesta a la adquisición y práctica repetitiva de habilidades musicales a largo plazo. En concreto, observaron incrementos de sustancia gris en el área motora y somatosensorial primaria, área premotora, giro de Heschl, giro temporal inferior, giro frontal inferior y área parietal superior. Específicamente, la corteza premotora y el cerebelo mostraron un papel esencial en la planificación, preparación, ejecución y control de los movimientos secuenciales bimanuales de los dedos. La región parietal superior junto con la corteza premotora destacaron en la integración de información multisensorial y motora, además de participar en la lectura de partituras musicales. Por último se evidenció la importancia del giro temporal superior para la elección de acciones específicas en respuesta a estímulos visuales durante la interpretación musical.

El trabajo de James et al. (2014), también ha puesto de manifiesto la presencia de una mayor densidad de la sustancia gris de los músicos en regiones frontales, occipito-temporales y postcentrales. Concretamente, estos autores evidenciaron incrementos en el volumen del giro orbital derecho y el giro frontal izquierdo, implicados en la sensibilidad tonal, y en el procesamiento sintáctico y la memoria de trabajo, respectivamente. También han observado aumentos de tamaño en el giro fusiforme derecho, relacionado con el reconocimiento de patrones visuales, y en el giro de Heschl izquierdo, asociado al procesamiento auditivo. Además, han apreciado un incremento de sustancia gris en el surco intraparietal izquierdo, vinculado a procesos de coordinación visomotora. Sin embargo, al igual que los resultados del trabajo de Vaquero et al. (2016), y en contraposición a otros estudios (Gaser & Schlaug, 2003; Han et al., 2009; Li et al., 2010), este equipo de investigación también evidenció una reducción del volumen del área somatosensorial, hecho que asociaron a una mayor automatización del procesamiento sensoriomotor.

Otros trabajos se han centrado en valorar las diferencias neuroanatómicas entre músicos y no músicos en regiones corticales específicas. En este sentido, el equipo de Sluming et al. (2002), tras analizar una muestra compuesta por 26 músicos integrantes de una importante orquesta británica, observaron una menor reducción del tamaño de la corteza prefrontal dorsolateral con respecto a los controles no músicos, y un aumento significativo de materia gris en el giro frontal inferior izquierdo, concretamente en el área de Broca. En base a estos hallazgos, estos autores sugieren que la interpretación musical orquestal promueve la retención dependiente del uso y, posiblemente, la expansión de la materia gris que involucra el área de Broca, lo que proporciona más apoyo para los sustratos neuronales compartidos que sustentan la salida expresiva en la música y el lenguaje.

Por otro lado, el trabajo de Amunts et al. (1997) sobre la corteza motora primaria, ha puesto de manifiesto la presencia de una menor asimetría en el cerebro de pianistas profesionales

comparados con no músicos. Utilizando la medida de la longitud de la pared posterior del giro precentral, este equipo de investigación ha puesto de manifiesto un mayor tamaño de la corteza motora primaria derecha de estos músicos, hecho asociado a una mayor habilidad motora de la mano no dominante y que genera una menor asimetría en esta región cerebral. En la misma línea, el estudio de Li et al. (2010), también informa de cerebros más simétricos en los músicos profesionales en lo que respecta a la corteza somatosensorial. Estos autores observaron la presencia de una mayor variabilidad de la sección media del surco central derecho en los músicos, asociada a un mayor tamaño del área somatotópica de la mano izquierda. Por último, destacar el trabajo de Bangert & Schlaug (2006), que no sólo evidenció un incremento del volumen de la corteza motora primaria de pianistas y músicos de cuerda en comparación con no músicos, sino que puso de manifiesto una especialización cerebral entre músicos, según el instrumento utilizado. Estos autores, observaron que los pianistas presentaban un mayor volumen del signo omega izquierdo, una marca del giro precentral asociada al control motor de la mano derecha, mientras que los violinistas y chelistas mostraron el mismo efecto pero contralateralizado. Este resultado sugiere que las diferencias cerebrales no se hallan solamente entre músicos y no músicos, sino también entre músicos profesionales entre sí, lo cual muestra el alto grado de especialización que puede alcanzar el cerebro humano en función de los requerimientos específicos de cada instrumento.

Algunos trabajos también se han ocupado de estudiar las áreas auditivas. En este sentido, el estudio de Schlaug et al. (1995), mediante resonancia magnética funcional, describe un mayor volumen del plano temporal izquierdo en músicos profesionales, relacionado con un procesamiento auditivo musical más analítico que el de los no músicos. Así mismo, el equipo de trabajo de P. Schneider et al. (2002), utilizando magnetoencefalografía con una tarea de discriminación tonal, apreció un incremento del 130% en el volumen del giro de Heschl en los músicos.

La literatura también se ha encargado de investigar las diferencias neuroestructurales entre músicos y no músicos con respecto al cerebelo. En un estudio retrospectivo realizado con participantes masculinos, Schlaug et al. (1998) evidenciaron un mayor volumen cerebelar relativo en los músicos. Este hallazgo fue interpretado como reflejo del entrenamiento intenso y continuo que realizan de complicadas secuencias digitales bimanuales. Del mismo modo, el equipo de investigación de Hutchinson et al. (2003), también observó la presencia de un mayor tamaño relativo del cerebelo en hombres músicos en comparación con sus homólogos no músicos, y aunque no apreciaron esta diferencia entre las mujeres, sí que evidenciaron un fuerte efecto del género en el volumen cerebeloso relativo, con un mayor tamaño de esta estructura en ambos grupos de mujeres con respecto a los hombres. Estos autores sugieren que este efecto podría estar enmascarando la influencia del entrenamiento musical entre las mujeres. En esta misma línea, los trabajos de Han et al. (2009), James et al. (2014) y Schmithorst & Wilke

(2002), también apreciaron este incremento del volumen cerebelar no sólo en hombres, sino también en mujeres músicos. Sin embargo, el estudio de Baer et al. (2015) apreció una reducción del volumen cerebelar, pero solo en aquellos participantes músicos que habían iniciado su entrenamiento antes de los siete años de edad. Al igual que sucede en otros trabajos que describen resultados contrarios con respecto al volumen en áreas corticales relacionadas con el procesamiento motor (James et al., 2014; Vaquero et al., 2016), estos autores asociaron esta reducción del volumen del cerebelo a un proceso de automatización y eficiencia motora.

En lo que respecta a la arquitectura *subcortical*, el estudio de las diferencias entre músicos y no músicos constituye una línea de investigación que ha empezado a cobrar interés por parte de la literatura en los últimos años. Es por ello que todavía no contamos con muchos estudios que profundicen en el análisis de estas áreas neurales. A este respecto, el trabajo de Vaquero et al. (2016), que realiza la exploración de un mayor número de regiones subcorticales, ha puesto de manifiesto que los pianistas profesionales presentan un mayor volumen de los ganglios basales, extendiéndose al hipocampo, amígdala y tálamo derecho. Además, han relacionado estos hallazgos con un mejor control y aprendizaje implícito de secuencias motoras, y beneficios mnésicos. En la misma línea, los estudios de Groussard, La Joie, et al. (2010) y Sluming et al., (2005), también han informado de un incremento en la densidad de materia gris en regiones hipocampales de los músicos, que vincularon a procesos de memoria musical (semántica y visual, respectivamente). Del mismo modo, Schmithorst & Wilke (2002) coinciden en señalar un aumento en el tamaño de los ganglios basales. Sin embargo, el trabajo de James et al. (2014), evidencia una reducción en el volumen de esta estructura subcortical, cuyo tamaño, acorde con procesos de automatización, resultó ser inversamente proporcional al grado de experiencia musical.

1.2.2. Sustancia Blanca

Las diferencias neuroestructurales entre músicos y no músicos con respecto a la sustancia blanca se han estudiado en menor medida que las diferencias en materia gris.

La primera evidencia in vivo de modificación estructural del cerebro de los músicos se registró en el cuerpo calloso, y fueron Schlaug, Jäncke, et al. (1995) quienes observaron un aumento de tamaño de la parte anterior en músicos que comenzaron de forma precoz su entrenamiento. Posteriormente, otro equipo del mismo departamento (D. J. Lee et al., 2003), tras ampliar la muestra de 30 a 56 músicos profesionales, hallaron que este incremento se extendía también a la parte posterior de esta estructura subcortical, pero sólo en hombres músicos, explicando la ausencia de estas diferencias entre las mujeres a la presencia de una mayor simetría en los cerebros femeninos. Otros trabajos de neuroimagen con tensor de difusión realizados por Öztürk et al. (2002) y de Schmithorst & Wilke (2002), también han evidenciado un mayor tamaño del cuerpo calloso de músicos profesionales en comparación con

no músicos. Más recientemente se ha estudiado la plasticidad del cuerpo calloso en función del instrumento musical utilizado (Vollmann et al., 2014), apreciándose una relación estructura-función significativa a favor de guitarristas comparados con no músicos, mientras que no observaron estas diferencias entre pianistas y no músicos.

En lo que respecta a la integridad de los fascículos longitudinales superior e inferior, tanto el estudio de Halwani et al. (2011) como el estudio de Schmithorst & Wilke (2002), respectivamente, han puesto de manifiesto un mayor volumen y una microorganización más estructurada de estas fibras de conexión entre regiones encefálicas posteriores y frontales en el cerebro de los músicos. Sin embargo, el análisis de las modificaciones en el tracto corticoespinal cuenta con evidencias contrapuestas. Por una parte, los trabajos de Bengtsson et al. (2005) y Han et al. (2009) informan de la presencia de incrementos del grosor axonal en la vía piramidal en pianistas profesionales, mientras que las investigaciones de Imfeld et al. (2009) y Schmithorst & Wilke (2002), incluyendo a músicos profesionales con una mayor experiencia musical, aprecian una disminución de la anisotropía fraccional en este tracto motor. Estos últimos autores, asociaron esta menor integridad de la sustancia blanca a procesos de automatización motora.

La revisión de la literatura que analiza las diferencias neuroestructurales entre músicos y no músicos, nos ha permitido constatar que el cerebro de los músicos profesionales cuenta con unas adaptaciones neuroplásticas ventajosas generalizadas. Estas modificaciones suelen incluir incrementos en el volumen de distintas estructuras encefálicas implicadas en el procesamiento musical. Sin embargo, existen evidencias de que los beneficios neurales asociados al entrenamiento musical no sólo incluyen aumentos de volumen, sino también reducciones del mismo. En este sentido, la interpretación de los músicos profesionales más experimentados se vería beneficiada por la presencia de procesos de automatización, asociados a reducciones en el tamaño de las estructuras implicadas en la integración sensoriomotora.

Por otra parte, aunque existe una base de evidencia sustancial que actuaría como soporte de las diferencias neuroestructurales apreciadas entre músicos y no músicos, se necesitan más investigaciones para alcanzar una comprensión completa de estas adaptaciones neurales relacionadas con la práctica musical. Además, sería de interés incluir en las investigaciones variables que, a menudo, no se han tenido en cuenta, como el sexo, la categoría instrumental o la edad de inicio del entrenamiento musical, y que podrían modular la relación entre el entrenamiento musical y la neuroplasticidad.

1.3. BENEFICIOS NEUROCOGNITIVOS ASOCIADOS AL ENTRENAMIENTO MUSICAL

Desde que en 1993 el equipo de Rauscher y cols. (Rauscher et al., 1993) informaron de una mejora en el rendimiento en una tarea visoespacial tras escuchar durante 10 minutos una Sonata de Mozart (Sonata en re mayor para dos pianos, KV448), el interés por conocer la influencia de la experiencia musical sobre las funciones neurocognitivas no ha parado de crecer. En este sentido, y teniendo en cuenta tanto las características específicas del entrenamiento musical como la evidencia sobre las modificaciones neuroestructurales asociadas al mismo, la literatura científica ha trasladado su interés inicial por el estudio de los efectos cognitivos de la escucha musical pasiva (Schellenberg et al., 2007), y se ha centrado en la investigación de la influencia de la práctica musical en el rendimiento neurocognitivo. Para dar satisfacción a estas inquietudes, se han llevado a cabo numerosos estudios con el objetivo de analizar la posible transferencia de las habilidades musicales a otros dominios cognitivos, utilizando para ello muestras que comparan a participantes entrenados musicalmente con grupos control que carecen de instrucción musical.

La revisión de la literatura a este respecto nos ha permitido constatar la presencia de varias líneas de investigación que varían en función de su enfoque metodológico. Por un lado se ha valorado el funcionamiento neurocognitivo de músicos profesionales, por otro, se han analizado muestras de adultos mayores de 55 años con diferentes niveles de entrenamiento musical y, finalmente, un último cuerpo de estudios se ha centrado en la evaluación de niños y adolescentes instruidos musicalmente.

1.3.1. Músicos profesionales

Los músicos con una amplia formación musical y experiencia en interpretación proporcionan un modelo excelente para estudiar el efecto neurocognitivo del entrenamiento musical. Estos profesionales suelen iniciar la práctica musical a edades tempranas, llevando a cabo una rutina de estudio diaria exhaustiva para perfeccionar tanto el dominio técnico de su instrumento como sus habilidades musicales generales. Así mismo, tanto su currículo formativo como su experiencia profesional y personal, incluyen la participación en distintos tipos de agrupaciones musicales, hecho que aumenta considerablemente el volumen y la complejidad del procesamiento cognitivo al que se ven sometidos. No es de extrañar, por tanto, que gran parte de las investigaciones que hemos revisado sobre el rendimiento de los músicos profesionales, hayan evidenciado la presencia de beneficios en numerosas funciones neurocognitivas. En este sentido, hemos apreciado que el estudio de las habilidades motoras, visoespaciales y la memoria verbal de los músicos han generado un mayor interés y un mayor grado de afinidad en la literatura. Sin embargo, las investigaciones sobre memoria visual, velocidad de procesamiento, comprensión verbal y algunos componentes de las funciones ejecutivas no han sido tan numerosas.

En primer lugar, al revisar la literatura hemos podido observar que las *habilidades motoras* son las más estudiadas, además, los trabajos al respecto son los que ofrecen resultados más consistentes y afines, informando de beneficios neurocognitivos a favor de los músicos profesionales. De hecho, numerosos estudios han informado de un mejor rendimiento de los músicos en destreza, velocidad y coordinación bimanual comparados con no músicos (Baer et al., 2015; Braun Janzen, Thompson, Ammirante, et al., 2014; Franěk et al., 1991; Hosoda & Furuya, 2016; Hughes & Franz, 2007; Hund-Georgiadis & Yves Von Cramon, 1999; Jäncke et al., 1997; Kimoto et al., 2019; Kincaid, 2002; Kuo et al., 2019; Ragert et al., 2004; Sims et al., 2015). Además, algunos de estos trabajos también han observado, paralelamente, modificaciones de la arquitectura neural de los músicos en áreas relacionadas con el procesamiento motor como el cerebelo, la corteza motora primaria, premotora y el área motora suplementaria (Baer et al., 2015; Hund-Georgiadis & Yves Von Cramon, 1999; Jäncke et al., 1997). Por otra parte, dado que el entrenamiento musical requiere constantes ejecuciones motoras en respuesta a estímulos auditivos y visuales, una cantidad significativa de estudios también han descrito beneficios neurocognitivos de los músicos en habilidades de sincronización sensoriomotora (Bailey et al., 2014; Bailey & Penhune, 2012, 2013; Brochard et al., 2004; J. L. Chen et al., 2008; Costantino et al., 2020; Karpati et al., 2016; Koenke et al., 2004; Krause et al., 2010; Kuchenbuch et al., 2014; Landry & Champoux, 2017; Meister et al., 2005; Pau et al., 2013; Scheurich et al., 2018; Steele et al., 2013; Verheul & Geuze, 2004; Watanabe et al., 2007). A este respecto, los trabajos del laboratorio canadiense de Bailey & Penhune (Bailey et al., 2014; Bailey & Penhune, 2012, 2013; Steele et al., 2013), también han puesto de manifiesto que, de cara a la adquisición de un nivel superior de destreza en estas habilidades de integración, es importante un inicio temprano del entrenamiento musical.

Otras funciones cognitivas en las que la literatura también informa de resultados afines son el *razonamiento perceptivo* y las *habilidades visoespaciales* y *visoconstructivas*, en las que la mayor parte de las investigaciones señalan una ventaja a favor de los músicos profesionales (Anaya et al., 2017; Bailey & Penhune, 2012; Bergman Nutley et al., 2014; Brandler & Rammsayer, 2003; Brochard et al., 2004; Costa-Giomi et al., 2001; Gagnon & Nicoladis, 2020; Patston et al., 2007; Patston, 2007; Patston et al., 2006; Patston & Tippett, 2011; Pietsch & Jansen, 2012; Ruthsatz et al., 2008; Schellenberg, 2006; Sluming et al., 2002, 2007; Stoesz et al., 2007). Entre estos trabajos merecen mención los estudios neurofuncionales de Sluming et al. (2002, 2007), ya que este equipo de investigación es uno de los pocos que ha incluido, como participantes músicos, a miembros de una orquesta sinfónica profesional (Royal Liverpool Philharmonic Orchestra). Estos autores observaron un mejor rendimiento de los músicos a la hora de completar una tarea de rotación mental tridimensional, a la vez que identificaron una mayor activación y una mayor densidad de materia gris en el área de Broca. Por otro lado, uno de los trabajos de un departamento de psicología neozelandés (Patston & Tippett, 2011), ha

puesto de manifiesto también que, incluso en presencia de estímulos distractores, el rendimiento de estos profesionales en pruebas visoespaciales sigue siendo más elevado que el de los no músicos.

El estudio de las distintas modalidades de *memoria verbal* en los músicos profesionales, también representa una de las funciones cognitivas que más atención ha recibido por parte de la literatura en este ámbito. A este respecto, la mayor parte de las investigaciones que analizan el rendimiento en tareas de memoria verbal, tanto a corto como a largo plazo, han evidenciado una ventaja de los músicos frente a los no músicos (Anaya et al., 2016; Brandler & Rammsayer, 2003; Chan et al., 1998; M. A. Cohen et al., 2011; Franklin et al., 2008; George & Coch, 2011; Hansen et al., 2013; Huang et al., 2010; Jakobson et al., 2008; Ramachandra et al., 2012; Suárez et al., 2016; Talamini et al., 2016; Taylor & Dewhurst, 2017; Tierney et al., 2008; A. H. Weiss et al., 2014). En el trabajo de Huang et al. (2010) se observó, además, que el mejor rendimiento de los músicos a la hora de recordar una lista de palabras a largo plazo se correlacionaba con una mayor activación de la corteza visual. Por otra parte, los trabajos que evalúan la capacidad de *memoria de trabajo verbal* también informan, mayoritariamente, de beneficios a favor de los músicos en esta función cognitiva (Alain et al., 2018; Clayton et al., 2016; Franklin et al., 2008; George & Coch, 2011; Pallesen et al., 2010; Parbery-Clark et al., 2009; Porflitt Becerra & Rosas-Díaz, 2019; Ramachandra et al., 2012; Schellenberg, 2006; Suárez et al., 2016; Talamini et al., 2016; Zuk et al., 2014). Además, los estudios de Clayton et al. (2016) y Parbery-Clark et al. (2009) han puesto de manifiesto que esta ventaja neurocognitiva se muestra incluso en presencia de entornos auditivos desafiantes que interfieren en el desempeño de las tareas aplicadas.

Hemos apreciado que la literatura que investiga las diferencias en memoria visual e incluso en memoria de trabajo visoespacial entre músicos profesionales y no músicos es realmente escasa. Además, en lo que respecta al estudio de la *memoria visual*, tanto a corto como a largo plazo, son más los trabajos que no aprecian diferencias en el rendimiento entre músicos y no músicos que los que informan de ellas (Bialystok & DePape, 2009; Brandler & Rammsayer, 2003; Chan et al., 1998; M. A. Cohen et al., 2011; Hansen et al., 2013; Helmbold et al., 2005; Okhrei et al., 2017; Rodrigues et al., 2014; Tierney et al., 2008). En este sentido, la investigación de Jakobson et al. (2008) es la única hasta la fecha que ha evidenciado un beneficio claro a favor de pianistas profesionales tanto en memoria verbal como en memoria visual a largo plazo. Así mismo, en lo que respecta al estudio de la *memoria de trabajo visoespacial*, solo el trabajo de Oechslin et al. (2013) informa de una ventaja a favor de los pianistas, observando, además, que esta ventaja aumentaba de forma proporcional al grado de experiencia musical de estos profesionales.

Por otra parte, aunque la literatura es bastante unánime a la hora de informar de una mayor *velocidad de procesamiento de la información* en los músicos profesionales, las investigaciones

que se ocupan de evaluarla también son escasas (Bugos & Mostafa, 2011; Helmbold et al., 2005; Moreno & Schellenberg, 2009; Patston, 2007; Patston et al., 2007; Porflitt Becerra & Rosas-Díaz, 2019). En este sentido, destacamos el estudio bimuestral de Zuk et al. (2014), quienes informan de una mayor velocidad de procesamiento en niños entrenados musicalmente frente a niños sin instrucción musical, sin embargo, no aprecian estas diferencias entre músicos profesionales y no músicos.

El estudio de la capacidad de *comprensión verbal* de los músicos tampoco ha generado mucho interés en la literatura. Además, constituye una de las funciones neurocognitivas que menos acuerdo suscita, de hecho, dentro de la escasa literatura al respecto, existen estudios que informan de ventajas a favor de los músicos (Anaya et al., 2016; Patston & Tippet, 2011; Schellenberg, 2006; Vyspínska, 2019), pero también hay otros trabajos que no muestran diferencias entre los grupos (Brandler & Rammsayer, 2003; Helmbold et al., 2005) o que incluso observan un mejor rendimiento en habilidades verbales a favor del grupo de no músicos (Bailey & Penhune, 2012). Este último hallazgo, en el que se describe una mejor capacidad de comprensión verbal en el grupo de no músicos, se obtuvo en una investigación sobre la influencia del entrenamiento temprano, al comparar el rendimiento de dos grupos de músicos profesionales que diferían en la edad de inicio de la práctica musical (< 7 vs. >7 años), con un grupo control de no músicos.

Por otro lado, la literatura referente al *funcionamiento ejecutivo* de los músicos profesionales tampoco es muy abundante, e informa tanto de ventajas a favor de los músicos, como de la ausencia de diferencias con los no músicos según el componente ejecutivo evaluado. En este sentido, los componentes de atención, memoria de trabajo verbal y control inhibitorio, son los más estudiados y los que más acuerdo generan en la literatura, con un mayor número de estudios que informan de la presencia de un mejor rendimiento de los músicos profesionales en estos aspectos ejecutivos (Alain et al., 2018; Anaya, 2013; Bialystok & DePape, 2009; Clayton et al., 2016; Criscuolo et al., 2019; Franklin et al., 2008; George & Coch, 2011; Jentsch et al., 2014; Moradzadeh et al., 2015; Okada & Slevc, 2016; Pallesen et al., 2010; Parbery-Clark et al., 2009; Porflitt Becerra & Rosas-Díaz, 2019; Ramachandra et al., 2012; Schellenberg, 2006; Slater et al., 2017; Suárez et al., 2016; Talamini et al., 2016; Travis et al., 2011; Zuk et al., 2014). Sin embargo, de los escasos trabajos que analizan la flexibilidad cognitiva y la capacidad de planificación, la mayor parte, no evidencian beneficios a favor de los músicos (Giovagnoli & Raglio, 2011; Okada & Slevc, 2018; Porflitt Becerra et al., 2018; Slevc et al., 2016).

Por último, el análisis de la *aptitud intelectual general* de los músicos profesionales, tampoco ha constituido un objetivo principal de estudio, por lo que la literatura es escasa a este respecto y además poco concluyente. Si bien se ha informado de un mayor cociente intelectual a favor de los músicos (Criscuolo et al., 2019; Schellenberg, 2006), los estudios de Brandler &

Rammsayer (2003) y Helmbold et al. (2005), no evidencian diferencias intelectuales generales entre músicos y no músicos.

En definitiva, tras revisar la literatura sobre el rendimiento neurocognitivo de los músicos profesionales, hemos podido observar que existen evidencias a favor de un procesamiento mejorado de estos músicos en la mayor parte de las funciones neurocognitivas evaluadas. Hemos constatado que la mayoría de los trabajos se centran en valorar el rendimiento en dominios cognitivos específicos, y que ninguno de los estudios revisados hasta la fecha ha llevado a cabo una evaluación completa de los principales dominios neurocognitivos. Además existe variabilidad a la hora de seleccionar las tareas cognitivas, lo cual dificulta la interpretación de los hallazgos. La revisión de la literatura también nos ha permitido apreciar diferencias importantes en las características de los músicos evaluados. Con respecto a la definición de músico profesional, sólo cuatro trabajos incluyen a músicos integrantes de orquestas profesionales (Kincaid, 2002; Rodrigues et al., 2013, 2014; Travis et al., 2011) mientras que en el resto, los participantes músicos son todos estudiantes, o, en algún caso, profesores de música (Giovagnoli & Raglio, 2011). Así mismo, la experiencia musical requerida para formar parte del grupo de músicos suele situarse entre los ocho y los diez años de antigüedad, sin embargo, en torno a un 25% de los trabajos exigen como mínimo 5-6 años de experiencia e incluso algún estudio solo incluye a estudiantes con dos años y medio de instrucción formal (Helmbold et al., 2005). Por último, señalar que alrededor del 78% de las investigaciones evalúan mayoritariamente a pianistas, con una media de 27 participantes músicos y de una edad promedio de 22 años. Esta variabilidad que hemos apreciado en la muestras de los músicos también se da en el grupo de no músicos, de tal manera que los criterios de selección para formar parte del mismo son dispares. Muchos trabajos incluyen a participantes sin conocimientos ni experiencia musical más allá de la que hubieran recibido en la enseñanza obligatoria, sin embargo, casi un 60% de ellos evalúan a participantes con 2-3 años de experiencia musical. Además, algunas investigaciones consideran ampliar dicha experiencia hasta cuatro años (Kincaid, 2002), y en otros trabajos el criterio consiste en no haber recibido instrucción musical siete años antes de la realización del estudio (Parbery-Clark et al., 2009).

1.3.2. Adultos mayores

Una segunda línea de investigación que ha suscitado interés por parte de la literatura es el análisis de la influencia del entrenamiento musical en adultos mayores de 55 años con diferentes niveles de entrenamiento y experiencia musical. Los trabajos realizados a este respecto, utilizan fundamentalmente diseños correlacionales en los que se compara el rendimiento neurocognitivo de estos músicos con el de no músicos. Algunos estudios también han empleado

diseños experimentales con el objetivo de intentar aislar el efecto que la práctica musical genera en el funcionamiento neurocognitivo. La revisión de la literatura permite sugerir la presencia de beneficios cognitivos tanto en individuos que han llevado a cabo un entrenamiento musical a largo plazo, como en aquellos que han seguido programas de instrucción musical relativamente cortos en etapas avanzadas de su vida.

Las ventajas neurocognitivas observadas en los músicos adultos mayores son particularmente notables en los individuos que han llevado a cabo un *entrenamiento musical a largo plazo*. En este sentido, los trabajos del equipo de la neuróloga americana Hanna-Pladdy et al. (Hanna-Pladdy & Gajewski, 2012; Hanna-Pladdy & MacKay, 2011) y la reciente investigación de Gray & Gow (2019), son los que han analizado de una manera más extensa el funcionamiento neurocognitivo de músicos con una media de edad de 70 años y más de 10 años de experiencia profesional. Estos autores han descrito la presencia de una mejor capacidad de estos profesionales en tareas de memoria y comprensión verbal, habilidades motoras y visoespaciales, velocidad de procesamiento de la información y funcionamiento ejecutivo frente a la de no músicos. Por otra parte, el estudio retrospectivo de Mansens et al. (2018), utilizando los datos de 1101 participantes mayores de 64 años incluidos en el Estudio Longitudinal de Envejecimiento de Ámsterdam (LASA) (Huisman et al., 2011), también observaron un beneficio a favor de los músicos en fluidez verbal, atención y memoria de trabajo, aprendizaje y memoria verbal, así como una mayor velocidad de procesamiento y una mejor función ejecutiva.

En otras investigaciones con esta misma población, en lugar de realizar evaluaciones de varios dominios cognitivos como los descritos anteriormente, se han centrado en el rendimiento en dominios neurocognitivos específicos. De este modo, en línea con las investigaciones anteriores, diversos estudios han informado de ventajas a favor de estos profesionales en velocidad de procesamiento, memoria de trabajo, memoria verbal y visual, habilidades visoespaciales y en el procesamiento ejecutivo (Abrahan et al., 2019; Amer et al., 2013; Fauvel et al., 2014; Gooding et al., 2014; Grassi et al., 2017; Moussard et al., 2016; Ocampo Osorio et al., 2018; Strong & Mast, 2019). Además, el trabajo de Metzler et al. (2013) también ha puesto de manifiesto que incluso una experiencia musical temprana que supere el año de duración puede generar beneficios a nivel motor en individuos mayores. Más aún, la reciente investigación de las neuropsicólogas americanas Strong & Midden (2020), ha evidenciado que la participación musical activa en edades avanzadas puede suponer una ventaja ejecutiva con respecto, incluso, a músicos formalmente instruidos que han detenido su entrenamiento.

También se han realizado investigaciones con adultos mayores que participan en *estudios de intervención aleatorizados* en los que uno de los grupos se somete a un programa específico de instrucción musical mientras que el otro, o bien no recibe tratamiento o se incluye en programas de ocio (deporte, pintura, idiomas...). Estos estudios también han informado de

beneficios neurocognitivos en aquellos participantes que reciben instrucción musical. Dentro de los escasos trabajos realizados al respecto, tanto Seinfeld et al. (2013) como Thorne (2015) han puesto de manifiesto un mejor procesamiento inhibitorio en los grupos que habían recibido una instrucción individualizada de piano de 4 y 6 meses de duración, respectivamente. De igual modo, utilizando el mismo diseño, las investigaciones de la pianista y gerontóloga estadounidense Jennifer A. Bugos y su equipo (Bugos, 2010; Bugos et al., 2007) también han apreciado beneficios en velocidad de procesamiento de la información, comprensión verbal y flexibilidad cognitiva a favor de los grupos que habían recibido el programa de entrenamiento musical.

En definitiva, el análisis de la literatura revisada nos permite informar de un mejor funcionamiento neurocognitivo en la vejez asociado al entrenamiento musical, que suele ponerse de manifiesto de manera más evidente en los estudios correlacionales, dado que evalúan adultos mayores con una práctica musical extensa. Pero además, la literatura también sugiere la existencia de un efecto de transferencia de la práctica musical adquirida a través de programas de instrucción relativamente cortos, que es particularmente relevante dadas las dificultades que tienen muchos programas de entrenamiento cognitivo para lograr una transferencia lejana (Bugos et al., 2007). Por lo tanto, aunque hay poca evidencia disponible y se necesita más investigación al respecto, estos hallazgos alientan a la realización de programas específicos de instrucción musical en mayores, ya que el entrenamiento musical parece ser una herramienta eficaz para conseguir mejoras neurocognitivas que faciliten un envejecimiento saludable.

1.3.3. Adolescentes y niños

Como ya hemos avanzado, esta última línea de investigación se ha centrado en analizar las diferencias neurocognitivas entre grupos de adolescentes y niños con y sin entrenamiento musical. Al igual que la literatura que estudia el funcionamiento cognitivo de los adultos mayores entrenados musicalmente, los trabajos con adolescentes y niños también se han orientado hacia diseños de tipo correlacional y experimental, sin embargo, en este caso son más numerosas las investigaciones en las que se evalúa la influencia de intervenciones temporales de instrucción musical sobre el rendimiento neurocognitivo de estos participantes.

Dentro de los trabajos de *diseño correlacional*, algunos estudios han valorado el funcionamiento neurocognitivo general, y en este sentido, el pianista y profesor de psicología canadiense E. Glenn Schellenberg ha informado de una mejor capacidad intelectual general de adolescentes y niños que contaban con al menos dos años de entrenamiento musical frente aquellos que no tenían entrenamiento (Schellenberg, 2006, 2011). Además, este autor observó que esta mayor capacidad intelectual no guardaba relación con su rendimiento en tareas que

requieren habilidades ejecutivas. En la misma línea, un estudio de colaboración entre instituciones educativas musicales y universidades portuguesas (Santos-Luiz et al., 2009), también evidenció una mayor capacidad intelectual de adolescentes y niños entrenados musicalmente frente al grupo de no músicos. Con respecto a las funciones ejecutivas, aunque el trabajo de Schellenberg (2011) no apreció ventajas en los músicos de su muestra, otros estudios han informado de la presencia de una mayor flexibilidad cognitiva y un mejor control inhibitorio (Degé, Kubicek, et al., 2011; Herrero & Carriedo, 2018), así como una mayor fluidez verbal a favor de adolescentes y niños músicos (Zuk et al., 2014).

Otro trabajo que ha analizado el rendimiento de estos participantes en diversas funciones neurocognitivas ha sido el estudio longitudinal de Bergman Nutley et al. (2014), el cual, mediante el seguimiento y evaluación de una muestra de 352 músicos y no músicos durante tres años, apreció un claro beneficio de la formación musical en memoria de trabajo verbal y visoespacial, razonamiento perceptivo y velocidad de procesamiento de la información. Así mismo, la investigación de Forgeard et al. (2008) evidenció mejoras a favor de los niños musicalmente entrenados en la capacidad de discriminación auditiva, comprensión verbal, razonamiento perceptivo y habilidades motoras finas con respecto a niños sin instrucción musical. Estos autores destacaron, además, la importancia de la duración del entrenamiento musical en el rendimiento tras observar que la ventaja en estas capacidades neurocognitivas se incrementaba de forma proporcional al número de años dedicados a la práctica musical (de 3 a 7 años). Por último, una serie de trabajos se han centrado en evaluar el rendimiento neurocognitivo de adolescentes y niños en funciones específicas como la memoria verbal y visual (M. Chen et al., 2013; Ho et al., 2003; Y. Lee et al., 2007) y las habilidades motoras (Braun Janzen, Thompson, & Ranvaud, 2014; Schlaug, 2005), evidenciando en ambos casos beneficios a favor de los grupos entrenados musicalmente.

En lo que respecta a los *estudios de intervención*, la mayor parte se han llevado a cabo en muestras de niños con una edad media de ocho años, sin embargo, uno de los primeros trabajos realizados apreció beneficios visoespaciales en niños de tan solo tres años de edad que habían recibido un programa de instrucción pianística individual de ocho meses de duración, frente a un grupo sin tratamiento (Rauscher et al., 1994). Posteriormente, este equipo de investigación incluyó a los niños del grupo control en un programa sencillo de canto y en clases de informática (Rauscher et al., 1997), e incluso sustituyó las clases de piano individual por clases grupales (8-10 niños) (Rauscher & Zupan, 2000) evidenciando, en ambos casos, la presencia de las mismas ventajas visoespaciales a favor del grupo que había recibido la formación musical.

Otras investigaciones experimentales también han evidenciado beneficios en memoria verbal y visual, habilidades motoras, velocidad de procesamiento y comprensión verbal (Degé, Wehrum, et al., 2011; Gruhn et al., 2003; Hyde et al., 2009; Piro & Ortiz, 2009; Rickard et al., 2010; Roden et al., 2014; Zafran, 2004), así como un mejor funcionamiento ejecutivo

(Holochwost et al., 2017; Jaschke et al., 2018; Moreno et al., 2011) y un mayor cociente intelectual (Schellenberg, 2004) a favor de los participantes incluidos en los grupos sometidos a programas de instrucción musical.

Por último, merece mención la reciente investigación de la violinista y neurocientífica Clara E. James (2020) quién, utilizando también un diseño experimental, ha llevado a cabo una de las evaluaciones cognitivas más completas para estudiar la influencia de un programa de instrucción musical en el rendimiento neurocognitivo. Esta autora evaluó a una muestra de 69 niños de entre diez y doce años de edad que asignó aleatoriamente a dos grupos; uno de 34 niños incluidos en un programa de entrenamiento musical en instrumentos de cuerda, y otro de 35 que se sometieron a un programa de sensibilización musical auditiva y teórico-práctica. Tras dos años de instrucción, los participantes incluidos en el programa de entrenamiento instrumental mostraron un mejor rendimiento que el grupo control en atención y memoria de trabajo, velocidad de procesamiento de la información, flexibilidad cognitiva, razonamiento perceptivo, integración sensoriomotora y coordinación bimanual.

La revisión de literatura que analiza la influencia del entrenamiento musical en el rendimiento cognitivo de niños y adolescentes, nos ha permitido constatar que períodos relativamente cortos de instrucción musical podrían generar beneficios en numerosas funciones neurocognitivas, así como en la aptitud intelectual general. Además, estas ventajas que se asocian al aprendizaje y práctica intensiva de un instrumento musical, y que se manifiestan tanto en la instrucción individual como en la grupal, parecen ser más evidentes cuando los períodos de formación se extienden en el tiempo. Es por ello que, aunque es necesaria más investigación al respecto, las evidencias acumuladas avalan, por una parte, los beneficios neurocognitivos del entrenamiento musical en menores, y por otra, la importancia de integrar programas de entrenamiento musical específico en el currículo educativo general de los niños y adolescentes, con el objetivo de contribuir a favorecer y potenciar su desarrollo neurocognitivo integral.

1.4. VARIABLES DE INFLUENCIA EN EL RENDIMIENTO NEUROCOGNITIVO DE LOS MÚSICOS

Teniendo en cuenta la evidencia de beneficios neurocognitivos generalizados tanto en músicos profesionales como en adultos mayores, adolescentes y niños sometidos a entrenamiento musical, la literatura sobre el tema se ha preocupado también de esclarecer si esta ventaja de los músicos guarda relación con el sexo, o con algunos aspectos de la historia musical como el tipo de instrumento que se interpreta o la edad a la que se inicia el entrenamiento.

1.4.1. Sexo

La cuestión de si existen diferencias sexuales en las capacidades cognitivas ha sido, desde hace décadas, motivo de numerosas investigaciones. En este sentido, aunque la mayoría de las revisiones no encuentran diferencias en la inteligencia general de hombres y mujeres (Camarata & Woodcock, 2006; Colom et al., 2002; D. F. Halpern et al., 2011; Jensen, 1998; Nyborg, 2015), si las aprecian con frecuencia en habilidades neurocognitivas específicas (Nisbett et al., 2012). De este modo, la literatura informa de que en líneas generales, los hombres suelen superar a las mujeres en tareas visoespaciales y de velocidad motora, mientras que las mujeres suelen presentar un mejor rendimiento que los hombres en cognición verbal y velocidad de procesamiento de la información (Keith et al., 2008; Ragland et al., 2000; Reilly et al., 2016; Roivainen, 2011; Ruff & Parker, 1993; Schmidt et al., 2000; Ullman et al., 2008).

A pesar del interés que la literatura ha puesto en el estudio del procesamiento cognitivo diferencial entre hombres y mujeres, los trabajos que lo analizan en músicos son muy escasos, se centran básicamente en el estudio de las habilidades visoespaciales, mnésicas y motoras, e informan mayoritariamente de un rendimiento intergénero similar. Con respecto al procesamiento visoespacial, las investigadoras alemanas Pietsch & Jansen (2012) describieron una ventaja masculina de los estudiantes de ciencias y los de deporte en una tarea de rotación mental tridimensional, que, sin embargo, no apreciaron entre hombres y mujeres músicos. En la misma línea, la investigación doctoral de Tucker (2019) tampoco observó una ventaja espacial diferencial en función del sexo entre los músicos. Sin embargo, el estudio experimental de Zafranas (2004) describió, dentro del grupo sometido a un programa de instrucción musical, un mejor rendimiento de los niños con respecto a las niñas en una de las tareas visoespaciales aplicadas.

En referencia al estudio de la memoria, el trabajo de Jakobson et al. (2008), que informa de beneficios en memoria verbal y visual de pianistas profesionales frente a no músicos, no observa diferencias mnésicas entre estos profesionales en función del género. Sin embargo, el equipo de investigación del compositor y neurocientífico norteamericano Scott A. Miles, en su estudio sobre el reconocimiento de melodías familiares en músicos profesionales (Miles et al., 2016), si que informa de un mejor desempeño de las mujeres músicos, asociándolo, en parte, a la ventaja femenina en la capacidad de memoria declarativa verbal. Por otra parte, en cuanto al

análisis de la influencia del género sobre el rendimiento motor, el trabajo de Aoki et al. (2005) no ha apreciado diferencias significativas entre hombres y mujeres pianistas en una tarea de golpeteo.

Por último, señalar que tanto los estudios electrofisiológicos como los trabajos de neuroimagen musical han evidenciado que los cerebros masculinos y femeninos presentan asimetrías específicas de género, siendo generalmente los cerebros femeninos más simétricos. Los estudios del equipo de investigación del músico y neurocientífico alemán Stefan Koelsch (Koelsch, Grossmann, et al., 2003; Koelsch, Maess, et al., 2003) han apreciado que el procesamiento sintáctico musical se encuentra lateralizado en hombres y niños, mientras que las mujeres lo llevan a cabo de forma bilateral. Con respecto a los estudios neuroestructurales, el trabajo de D. J. Lee et al. (2003) informó de que solo los hombres músicos presentaban un aumento en el tamaño del cuerpo calloso en comparación con los no músicos, mientras que esta diferencia no se apreciaba en las mujeres músicos. Este mismo hallazgo se ha obtenido en cuanto al cerebelo, de manera que solo los hombres muestran una diferencia significativa entre músicos y no músicos (Hutchinson, 2003).

En definitiva, aunque existe un considerable cuerpo de investigaciones que han observado diferencias en el rendimiento cognitivo en función del sexo en población general (Daseking et al., 2017; Jansen et al., 2016; Prigatano et al., 2008; Reilly et al., 2016), el estudio del funcionamiento neurocognitivo entre hombres y mujeres músicos es escaso y, además, los pocos estudios al respecto no suelen informar de la presencia de diferencias. Por otro lado, las escasas evidencias neurofisiológicas y neuroestructurales apuntan a la existencia de un procesamiento y una arquitectura cerebral diferente entre hombres y mujeres músicos, hecho que brinda más apoyo a la idea del sexo como variable moderadora en los procesos neuroplásticos, y exhorta a la literatura a incrementar el estudio de la influencia de esta variable en el funcionamiento neurocognitivo de los músicos.

1.4.2. Categoría instrumental

En la neurociencia musical, tradicionalmente se ha tratado a los músicos como un grupo unificado, considerando que las exigencias de sus actividades musicales influyen de manera similar en su funcionamiento neurocognitivo. Sin embargo, sus preferencias musicales permiten distinguir diversos perfiles de músicos, por ejemplo, en función del instrumento que eligen o del género musical con el que están más involucrados (Tervaniemi, 2009). En este sentido y teniendo en cuenta que las demandas perceptivas y de interpretación difieren entre los distintos instrumentistas, la literatura científica ha puesto más interés en los posibles efectos neurales y cognitivos generados por el entrenamiento musical según el tipo de instrumento empleado.

Las evidencias neurofisiológicas disponibles hasta la fecha, informan de la existencia de una especificidad en la representación encefálica en función del timbre. De este modo, los trabajos de Pantev et al. (2001) y Shahin et al. (2003, 2008), han informado de respuestas diferenciales de la corteza auditiva al comparar a violinistas con trompetistas y con pianistas, respectivamente. En la misma línea, el estudio de Margulis et al. (2009), tras someter a violinistas y pianistas a la escucha de partitas de J. S. Bach para violín solo o piano solo, también observó una mayor respuesta hemodinámica en la corteza auditiva, el área de Broca y en la circunvolución precentral cuando estos profesionales escuchaban las composiciones interpretadas por su propio instrumento. Así mismo, el trabajo de Strait et al. (2012) también ha apreciado una respuesta específica del tronco encefálico en función del timbre. Por otro lado, los estudios neuroestructurales han puesto de manifiesto la presencia de adaptaciones neurales en estructuras relacionadas con el procesamiento motor, que son diferentes en función del instrumento que se toque. En este sentido, el estudio de Bangert & Schlaug (2006) ha informado de una expresión más pronunciada del signo omega, una región del giro precentral relacionada con la representación motora de la mano, que resultó estar lateralizada a la izquierda en pianistas y a la derecha en violinistas. En la misma línea, también se ha evidenciado una microorganización mejorada del tracto corticoespinal izquierdo en los pianistas con respecto a instrumentistas de cuerda (Rüber et al., 2015).

En cuanto a las investigaciones sobre el rendimiento neurocognitivo de los músicos en función del instrumento, la escasa literatura al respecto ha informado fundamentalmente de la presencia de diferencias en habilidades perceptivas, visoespaciales, motoras, y en control inhibitorio. En referencia a las habilidades perceptivas, el trabajo de Rauscher & Hinton (2003) evidenció la influencia del tipo de instrumento musical en los procesos de discriminación auditiva, al observar que los percusionistas tenían umbrales de discriminación más bajos para la duración de los sonidos, mientras que los músicos de cuerda los tenían más bajos para la frecuencia. Por otra parte, el único estudio que hemos podido constatar que evalúa específicamente las habilidades visoespaciales en función del tipo de instrumento (Tucker, 2019), ha informado de una ventaja a favor de los músicos de cuerda frente a los de viento en una tarea de visualización espacial. En lo que respecta a las habilidades motoras, las comparaciones instrumentales se han llevado a cabo a través de tareas de golpeteo simple, en las que se ha descrito un mejor rendimiento de pianistas frente a violinistas (Jäncke et al., 1997), y tareas de integración sensoriomotora, en las que, por un lado, se ha evidenciado una ventaja a favor de los percusionistas con respecto a pianistas y cantantes (Krause et al., 2010), y por otro, un mejor desempeño de músicos de viento frente a músicos de cuerda (Stoklasa et al., 2012). Por último, los estudios sobre la capacidad de control inhibitorio han apreciado un beneficio a favor de los percusionistas en comparación con otras especialidades instrumentales (Bianco et al., 2017; Slater et al., 2017).

Tomados en conjunto, estos hallazgos sugieren la existencia de perfiles neurocognitivos diferenciales entre los músicos en función del tipo de instrumento musical con el que realizan su entrenamiento. Así mismo, los escasos trabajos neuroestructurales coinciden en señalar la presencia de adaptaciones corticales y subcorticales específicas en relación a las demandas requeridas por cada instrumento, ofreciendo soporte neuroanatómico a las diferencias evidenciadas en los escasos trabajos neurocognitivos realizados al respecto. Estos resultados invitan a incrementar las investigaciones para explorar y alcanzar una mejor comprensión de las relaciones cerebro-conducta en función del tipo de instrumento musical en el que está especializado el músico profesional. Además, esta línea de trabajo también tiene un ámbito aplicado, especialmente para implementar programas de intervención terapéutica basados en la interpretación musical, que podrían ser diseñados específicamente para cada paciente en función de sus necesidades y posibilidades.

1.4.3. Edad de inicio del entrenamiento musical

La edad de inicio del entrenamiento musical, a diferencia de la categoría instrumental y el sexo, es una de las variables de influencia en el rendimiento neurocognitivo de los músicos que más atención ha recibido por parte de la literatura. La evidencia de beneficios cognitivos y neuroestructurales asociados al entrenamiento musical y el hecho de que la mayor parte de los músicos profesionales suelen comenzar la práctica musical a muy corta edad (Bailey & Penhune, 2010), ha incrementado el interés de la literatura por conocer el posible efecto de la práctica musical temprana en la estructura y la función cerebral.

A nivel neuroestructural, la literatura nos informa de modificaciones en determinadas áreas encefálicas relacionadas con la edad a la que se inició el entrenamiento musical. Se han descrito, entre otros, incrementos en el volumen de sustancia gris del córtex motor primario, córtex premotor y giro precentral, así como una menor asimetría en la sección media del surco central en músicos profesionales que han comenzado su práctica instrumental a corta edad (Amunts et al., 1997; Bailey et al., 2014; Elbert et al., 1995; Gaser & Schlaug, 2003; Li et al., 2010). También se ha evidenciado un mayor volumen de la corteza auditiva, cuerpo calloso, giro temporal inferior, prefrontal dorsolateral o áreas parietales superiores (J. L. Chen et al., 2008; Gaser & Schlaug, 2003; Pantev et al., 1998; Pantev, Roberts, et al., 2001; Schlaug, Jäncke, et al., 1995; Steele et al., 2013). Así mismo, algunos autores han descrito un incremento de la difusividad radial en el tracto corticoespinal como respuesta a un entrenamiento musical temprano (Imfeld et al., 2009).

Además de estos incrementos en el volumen de sustancia gris en distintas partes de la corteza cerebral, la literatura también informa de una disminución del tamaño cerebelar, así como de reducciones en el volumen de estructuras subcorticales como el putamen, que se han

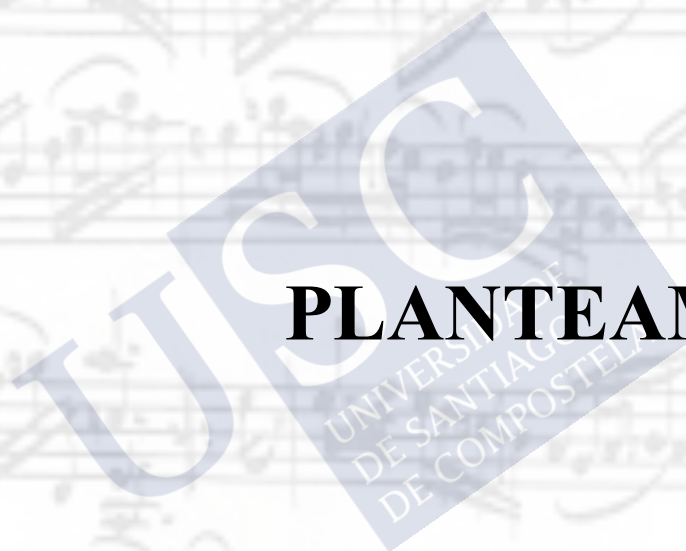
relacionado con un mayor almacenamiento a largo plazo de habilidades motoras y una mayor eficiencia en la integración de estas habilidades con información multisensorial (Baer et al., 2015; Koenke et al., 2004; Vaquero et al., 2016).

Estos hallazgos neuroestructurales están asociados a un correlato funcional. En este sentido, la literatura ha evidenciado mejoras en el rendimiento cognitivo de músicos con un entrenamiento musical precoz en tareas de sincronización sensoriomotora (Bailey et al., 2014; Bailey & Penhune, 2010, 2012, 2013; J. L. Chen et al., 2008; Forgeard et al., 2008; Penhune et al., 2005; Steele et al., 2013; Vaquero et al., 2016; Watanabe et al., 2007), habilidades verbales (Chan et al., 1998; Forgeard et al., 2008; Jakobson et al., 2008; Moreno et al., 2011), en memoria y procesamiento visual (Jakobson et al., 2008; Stoesz et al., 2007), en determinadas habilidades visoespaciales y visoconstructivas (Costa-Giomi et al., 2001; Stoesz et al., 2007), velocidad de procesamiento (Roden et al., 2014; Zuk et al., 2014) y en ciertos componentes ejecutivos como la flexibilidad cognitiva, memoria de trabajo auditiva, fluidez verbal, solución de problemas y control inhibitorio (Moreno et al., 2011; Schellenberg, 2011; Zuk et al., 2014). Incluso se ha observado un mayor coeficiente intelectual cuando el entrenamiento musical es temprano (Jakobson et al., 2008; Moreno et al., 2011; Schellenberg, 2011). Sin embargo, estos hallazgos no son compartidos por todos los autores ya que algunos no aprecian relación entre un inicio temprano del entrenamiento musical y el rendimiento cognitivo de músicos en tareas de atención y memoria de trabajo visual (Chan et al., 1998; Roden et al., 2014), velocidad de procesamiento (Zuk et al., 2014), sincronización auditivo-motora (Baer et al., 2015), habilidades espaciales, verbales y razonamiento numérico (Mehr et al., 2013).

Con respecto a la edad que establece la literatura como punto de corte para considerar un entrenamiento musical temprano, hemos apreciado que existe variabilidad entre los distintos autores. La mayor parte de los estudios han observado diferencias cognitivas y neurales estableciendo la edad de siete años como punto de corte (Bailey et al., 2014; Bailey & Penhune, 2010, 2012; Imfeld et al., 2009; Koenke et al., 2004; Moreno et al., 2011; Penhune et al., 2005; Schlaug, Jäncke, et al., 1995; Vaquero et al., 2016; Watanabe et al., 2007), sin embargo, en otras investigaciones también se encuentran evidencias ampliando esta edad hasta los nueve años (Bailey & Penhune, 2013; Jakobson et al., 2008; Pantev et al., 1998; Pantev, Engelen, et al., 2001; Roden et al., 2014; Stoesz et al., 2007; Zuk et al., 2014). Teniendo en cuenta que a partir de los nueve años muchas de estas diferencias parecen no presentarse (Amunts et al., 1997; Bailey & Penhune, 2013; Pantev et al., 1998; Pantev, Engelen, et al., 2001), algunos autores apoyan la hipótesis de la existencia de un período sensible que afectaría a las habilidades de integración auditiva y visual con la función motora (Baer et al., 2015; Bailey et al., 2014; Bailey & Penhune, 2010, 2012, 2013; Gaser & Schlaug, 2003; Imfeld et al., 2009; Penhune et al., 2005; Schlaug, Jäncke, et al., 1995; Steele et al., 2013; Vaquero et al., 2016; Watanabe et al., 2007). Este período sensible sería análogo a los ya propuestos para el sistema visual (Hooks

& Chen, 2007) o el auditivo (De Villers-Sidani & Merzenich, 2011), en el que la influencia del entrenamiento musical temprano en el cerebro, aunque no sería crítica, si tendría un efecto particularmente fuerte durante este período limitado del desarrollo, permitiendo una mayor adaptación de los circuitos neuronales implicados en estas habilidades (Knudsen, 2004).

La revisión de la literatura nos ha permitido constatar que existe evidencia a favor de una arquitectura neural y un procesamiento neurocognitivo mejorados en músicos que inician su entrenamiento musical de forma temprana. Sin embargo, las investigaciones en las que se compara el rendimiento neurocognitivo de músicos que iniciaron su entrenamiento musical de modo precoz con músicos que lo iniciaron de forma tardía son escasas, e informan fundamentalmente del rendimiento en tareas específicas de sincronización sensorio-motora diseñadas por sus autores (Baer et al., 2015; Bailey et al., 2014; Bailey & Penhune, 2010, 2012, 2013; Penhune et al., 2005; Steele et al., 2013; Vaquero et al., 2016; Watanabe et al., 2007). Es por ello que se necesita continuar investigando para clarificar no solo los posibles beneficios neurocognitivos de un entrenamiento temprano, sino también concretar las edades críticas en las que habría que comenzar. Consideramos que continuar esta línea de investigación es de interés para alcanzar una mayor comprensión de los efectos del entrenamiento musical temprano en la plasticidad cerebral y el rendimiento neurocognitivo. Además, sus resultados tienen un interés aplicado relevante. En primer lugar, tanto para las personas que se quieran dedicar profesionalmente a la música como para las instituciones encargadas de su formación, por la importancia de conocer si existe una franja de edad crítica para el inicio del entrenamiento musical que permita obtener beneficios neurocognitivos, puesto que podría condicionar el desarrollo de sus carreras profesionales. En segundo lugar, cabe esperar que los posibles beneficios en el rendimiento neurocognitivo de niños sometidos a entrenamiento musical, incluso con períodos relativamente cortos de instrucción, podrían transferirse al resto de materias de la enseñanza obligatoria, con la consecuente mejora en su aprendizaje global. De ser así, debería tenerse en cuenta en la estructura del currículo educativo general, no sólo por la inclusión o potenciación de materias que impliquen un entrenamiento musical, sino también, sobre todo, por la edad idónea a la que deberían ser impartidas dichas materias de cara a la obtención de estos posibles beneficios. Además también serían de interés desde la perspectiva de la teoría de la reserva cognitiva, ya que se ha informado de que un inicio temprano del entrenamiento musical podría amortiguar el declive de la función cognitiva relacionada con el envejecimiento (Hanna-Pladdy & Gajewski, 2012; Parbery-Clark et al., 2011).



PLANTEAMIENTO



2. PLANTEAMIENTO

La revisión que hemos realizado de la literatura en este ámbito de investigación nos ha permitido constatar que existen evidencias, tal y como ya se expuso, de diferencias neurocognitivas entre músicos y no músicos. A nivel neural, partiendo de que tanto percibir como interpretar música requieren de la activación de una amplia red encefálica que implica estructuras corticales y subcorticales de ambos hemisferios cerebrales, estas diferencias neurocognitivas asociadas al entrenamiento musical se han explicado por una serie de modificaciones neuroestructurales que son particularmente evidentes en regiones cerebrales relacionadas con el procesamiento auditivo y sensoriomotor, en las que los músicos presentan adaptaciones neuroplásticas ventajosas generalizadas. A nivel cognitivo, también se han descrito beneficios a favor de este grupo poblacional especialmente en la realización de tareas que implican un procesamiento visoespacial, motor y mnésico.

La revisión de la literatura también nos ha permitido apreciar ciertos aspectos metodológicos de los estudios que dificultan la interpretación de los resultados obtenidos, como la tendencia a trabajar con un reducido tamaño muestral; a incluir en el grupo de los músicos a estudiantes de música, sólo pianistas, y/o profesionales con una experiencia limitada. También hemos apreciado variabilidad a la hora de seleccionar las tareas cognitivas, y tendencia a realizar estudios que evalúan dominios cognitivos específicos. De hecho, no hemos encontrado trabajos que se ocupen de realizar una valoración neuropsicológica completa en músicos profesionales.

En este sentido, si las evidencias actuales apuntan a que existen beneficios neurocognitivos en los músicos profesionales, no parece productivo continuar evaluando parceladamente su rendimiento en distintos dominios cognitivos específicos. Por el contrario, consideramos oportuno tratar de describir un perfil de rendimiento neuropsicológico en músicos profesionales así como determinar posibles variables que influyan en su rendimiento, intentando para ello superar algunas de las limitaciones apreciadas en estudios anteriores.

Es por ello que en esta investigación que presentamos para obtener el grado de Doctor en Psicología, y teniendo en cuenta las evidencias descritas y las limitaciones metodológicas expuestas, nos planteamos el interés de aportar nuevos datos a la literatura que permitan continuar profundizando en el funcionamiento neuropsicológico de estos profesionales, y así contribuir a un mayor conocimiento de los beneficios neurocognitivos asociados a la práctica musical. Para poder alcanzar este objetivo nos hemos esforzado en intentar superar algunas de las limitaciones de los estudios previos, diseñando una investigación en la que procuramos ejercer control sobre variables confusoras no sólo sociodemográficas y clínicas, sino también otras relacionadas con la historia profesional de los músicos. Además, del mismo modo que

hemos considerado y controlado variables como la edad, sexo, nivel educativo, antecedentes neurológicos y psiquiátricos, etc., también hemos evaluado el nivel de participación en actividades de la vida diaria cognitivamente estimulantes, debido a que pudiera contribuir a explicar diferencias individuales en el rendimiento neurocognitivo (Labra Pérez & Menor, 2014). Por otro lado, teniendo en cuenta las evidencias de que algunas variables como el sexo, la categoría instrumental y la edad de inicio del entrenamiento musical pueden ejercer un efecto diferencial en el rendimiento de los músicos, también hemos considerado valorar su influencia. Por último, hemos incrementado el tamaño de la muestra con respecto a la mayoría de las investigaciones previas en este ámbito, y hemos incluido a participantes que son músicos expertos, en activo y con una larga trayectoria profesional.

En definitiva, entendemos que el diseño empleado, los criterios de inclusión exigidos para participar en el estudio, y el control realizado sobre posibles variables confusoras, nos permitirán poder alcanzar el objetivo de ofrecer datos a la literatura que contribuyan a la comprensión de la influencia del entrenamiento musical en el rendimiento neuropsicológico de los músicos profesionales. También consideramos que los resultados de esta línea de investigación tienen un interés aplicado en ámbitos diferentes que van desde una optimización del desarrollo profesional de los músicos, hasta aportar evidencias para una adaptación curricular de la enseñanza obligatoria, pasando por sus implicaciones clínicas en el diseño de terapias musicales individualizadas o en la implementación de programas de entrenamiento musical para amortiguar el deterioro cognitivo.

Por último, no debemos olvidar que el parcelado que habitualmente se lleva a cabo a la hora de estudiar el funcionamiento neuropsicológico constituye un artefacto para facilitar su comprensión. Para que podamos interactuar con el entorno de una forma satisfactoria, las distintas áreas cerebrales actúan en conjunto, formando redes nerviosas a gran escala que subyacen a operaciones cognitivas complejas, de tal manera que los diferentes dominios cognitivos en que solemos dividir la función cerebral tienen que responder de forma integrada y coordinada. Así mismo, también debemos tener presente que los resultados de esta investigación están basados en puntuaciones grupales promedio, y cada participante en el estudio nunca es un promedio.



OBJETIVOS E HIPÓTESIS



3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio es contribuir a profundizar en el rendimiento neuropsicológico de músicos profesionales mediante la realización de una valoración basada en una batería de pruebas neurocognitivas diseñada *ad hoc* para esta investigación. Para alcanzar este objetivo general se han planteado los siguientes objetivos específicos:

1º. Valorar el rendimiento neurocognitivo de los músicos en distintas funciones cognitivas:

- Atención y memoria de trabajo
- Velocidad de procesamiento de la información
- Memoria y aprendizaje
- Comprensión verbal
- Razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas
- Habilidades motoras
- Funciones ejecutivas

2º. Analizar las distintas capacidades cognitivas específicas y la capacidad intelectual general de los músicos.

3º. Determinar si existen diferencias en el rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos en función del sexo.

4º. Determinar si existen diferencias en el rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos en función de la categoría instrumental.

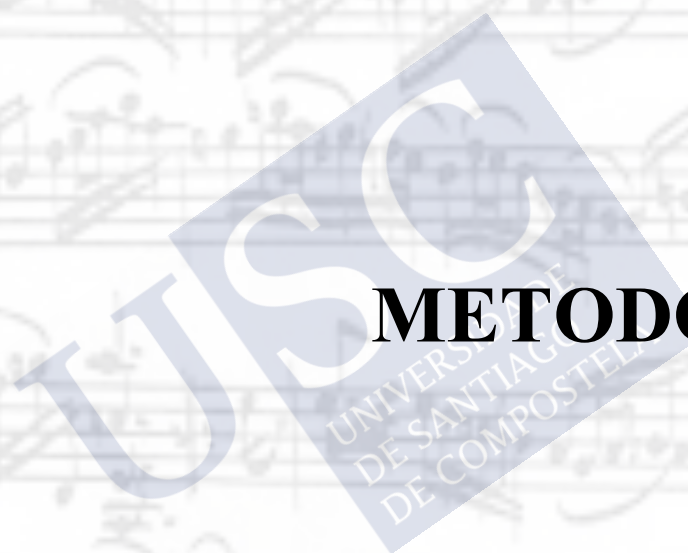
5º. Determinar si existen diferencias en el rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos en función de la edad a la que iniciaron el entrenamiento musical.

3.2. HIPÓTESIS

A partir de la revisión del marco teórico, sobre la base de los objetivos expuestos se han formulado las siguientes hipótesis:

1. Los músicos obtienen un mejor rendimiento en tareas de atención y memoria de trabajo en comparación con no músicos.

2. Los músicos obtienen un mejor rendimiento en tareas de velocidad de procesamiento de la información en comparación con no músicos.
3. Los músicos obtienen un mejor rendimiento en tareas de memoria y aprendizaje en comparación con no músicos.
4. Los músicos obtienen un mejor rendimiento en tareas de comprensión verbal en comparación con no músicos.
5. Los músicos obtienen un mejor rendimiento en tareas de razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas en comparación con no músicos.
6. Los músicos obtienen un mejor rendimiento en tareas motoras en comparación con no músicos.
7. Los músicos obtienen un mejor rendimiento en tareas ejecutivas en comparación con no músicos.
8. Los músicos tienen mayores capacidades cognitivas específicas y mayor capacidad intelectual general que los no músicos.
9. Los hombres músicos presentan mejor rendimiento en razonamiento perceptivo, memoria visual y habilidades motoras que las mujeres músicos.
10. Las mujeres músicos presentan mejor rendimiento en velocidad de procesamiento de la información y en memoria, aprendizaje y comprensión verbal.
11. Los hombres y las mujeres músicos tienen la misma capacidad intelectual general y presentan el mismo rendimiento en atención y memoria de trabajo y en funciones ejecutivas.
12. Los músicos que tocan instrumentos de cuerda obtienen mejor rendimiento que los que tocan instrumentos de viento en razonamiento perceptivo.
13. Los músicos que tocan instrumentos de viento obtienen mejor rendimiento que los que tocan instrumentos de cuerda en habilidades motoras.
14. Los músicos presentan el mismo rendimiento en memoria de trabajo, velocidad de procesamiento de la información, memoria y aprendizaje, comprensión verbal, funciones ejecutivas, e igual capacidad intelectual general independientemente de que toquen instrumentos de cuerda o de viento.
15. Los músicos que comenzaron el entrenamiento musical a edad más temprana obtienen mejor rendimiento en todas las áreas cognitivas evaluadas y una mayor capacidad intelectual general.



METODOLOGÍA



4. METODOLOGÍA

4.1. PARTICIPANTES

Para realizar esta investigación se utilizó una muestra compuesta por 100 participantes que se distribuye en dos grupos:

- 1) Un grupo formado por 50 músicos profesionales (músicos).
- 2) Un grupo compuesto por 50 participantes no músicos (no músicos).

Para la selección de los participantes se siguieron los criterios de inclusión generales, sociodemográficos, educativos y clínicos, que se presentan en la Tabla 1. Dentro de los criterios sociodemográficos y en cuanto al requerimiento de edad, se seleccionó una franja que posibilitara una amplia experiencia musical profesional en el grupo de participantes músicos, además de asegurar una maduración completa del sistema nervioso central en toda la muestra. La inclusión de participantes con una nacionalidad distinta a la española fue debida al alto porcentaje de músicos profesionales extranjeros integrantes de las dos formaciones musicales orquestales muestreadas, motivo por el cual se estableció como criterio, para los participantes extranjeros, un mínimo de 5 años de residencia en España. Este aspecto, junto al requerimiento, dentro ya de los criterios de inclusión educativos, del dominio del castellano como segundo idioma, nos permiten asegurar un conocimiento de la cultura y de la lengua española suficiente para la ejecución en las distintas tareas que componen el protocolo de evaluación neurocognitiva. Por otro lado, el acceso a una plaza de músico en las formaciones musicales muestreadas, requiere estar en posesión de una Titulación Superior de Enseñanzas Artísticas y, ya que este tipo de Titulación es equivalente, a todos los efectos, a las antiguas Licenciaturas Universitarias o a las actuales Titulaciones de grado (Real Decreto 21/2015, de 23 de enero, por el que se modifica el Real Decreto 1614/2009, de 26 de octubre, por el que se establece la ordenación de las enseñanzas artísticas superiores reguladas por la Ley Orgánica 2/2006, de 3 de mayo, de Educación. Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, Madrid, España, 23 de enero de 2015), se exigió también este nivel educativo en el grupo de participantes no músicos. Por último, en lo que respecta a los criterios de inclusión de carácter clínico, garantizan que toda la muestra está compuesta por participantes sanos, sin patologías de interés neuropsicológico, ni antecedentes de abuso de drogas/substancias estupefacientes o tratamientos médicos de interés para esta investigación que pudieran interferir en el rendimiento cognitivo.

Tabla 1. Criterios de inclusión generales

Variables	Criterio
Edad	30 a 55 años
Nacionalidad	Españoles o extranjeros con más de 5 años de residencia en España
Idiomas	Dominio de 2 idiomas (castellano uno de ellos)
Nivel de estudios	Superiores (Licenciatura Universitaria o equivalente)
Enfermedad psiquiátrica/neurológica	Sin presencia de patologías psiquiátricas, neurológicas o médicas
Consumo de drogas/estupefacientes	Sin antecedentes de abuso ni tratamiento médico

Las características específicas de cada grupo de participantes son las siguientes:

4.1.1. Músicos

Los 50 participantes del grupo de músicos pertenecen a cuatro agrupaciones profesionales, dos orquestas y dos bandas, de la Comunidad Autónoma de Galicia (Tabla 2).

Tabla 2. Formaciones musicales muestreadas

Orquestas Profesionales de Galicia	Real Filharmonía de Galicia
	Orquesta Sinfónica de Galicia
Bandas de Música Profesionales de Galicia	Banda Municipal de Música de Santiago
	Banda Municipal de Música de A Coruña

El muestreo de estas agrupaciones se ha llevado a cabo teniendo en cuenta no sólo la localización geográfica de las mismas, sino la importancia de poder contar con un grupo de participantes que se ajustaran a una definición de músico profesional lo más rigurosa posible. De este modo, las formaciones musicales profesionales seleccionadas, son las únicas dentro de la Comunidad Autónoma de Galicia que disponen de un sistema de acceso reglado, además, cuentan con una programación muy activa de conciertos anuales, lo que garantiza la implicación continua e intensiva de sus integrantes en el entrenamiento musical. Para un músico profesional no hay nada más gratificante que poder vivir de la interpretación musical, es por ello que el alcanzar un puesto como integrante de una agrupación de este tipo es el objetivo de la gran mayoría. Sin embargo, debido al interés creciente de los estudios musicales y a la globalización, la ratio entre la cantidad de músicos y las plazas en orquestas y bandas profesionales ha aumentado mucho en los últimos años, lo que incrementa la competencia en el acceso a este tipo de formaciones. El requerimiento para la obtención de una plaza en estas agrupaciones, no sólo se basa en poseer una Titulación Superior de Música, sino que es necesario superar un exigente procedimiento de concurso-oposición, en donde la parte interpretativa cuenta con un peso muy elevado de cara al resultado final. Por otro lado, aunque la cantidad de conciertos anuales con sus respectivos ensayos semanales sean elevados, existen

circunstancias especiales que podrían interferir en el grado de experiencia o la constancia del entrenamiento de algunos músicos, por lo que también hemos establecido unos criterios de inclusión específicos para el grupo de músicos que garantizan una muestra de profesionales consolidados y en activo (Tabla 3).

Tabla 3. Criterios de inclusión específicos para los músicos

Variable	Criterio
Años de experiencia profesional	Un mínimo de 10 años en agrupaciones profesionales
Horas de práctica en la agrupación	Un mínimo de 20 horas semanales
Horas de estudio individual	Un mínimo de 5 horas semanales
Interrupción del entrenamiento musical	No más de 1 vez, ni duración superior a 3-6 meses

En lo que respecta a las características sociodemográficas y musicales merece mención destacar que se ha realizado un esfuerzo por igualar la distribución de las características de los participantes. En esta línea, en la Tabla 4 se recogen las variables de balanceo primario que se han controlado. En primer lugar y con respecto al sexo, hay igual número de hombres que de mujeres. Con respecto a la nacionalidad, el grupo de músicos está formado por participantes españoles y extranjeros al 50%, puesto que las plantillas de las dos orquestas muestreadas cuentan con un porcentaje de músicos extranjeros que ronda el 70%, incluyendo más de 17 nacionalidades diferentes. Esto en parte es debido, por un lado, a que los países del norte y del este de Europa cuentan con una mayor tradición musical orquestal, sobre todo en cuanto a los instrumentos de cuerda y, por otro lado, a que la cantidad y el nivel de músicos españoles durante los primeros años de la década de los 90, años en que se fundaron estas dos agrupaciones, no era tan elevado como lo es en la actualidad. Por el contrario, las Bandas de Música Municipales, con una alta tradición en nuestro país e integradas básicamente por instrumentistas de viento, se nutren, en su totalidad, de músicos con nacionalidad española. En lo que respecta a la categoría instrumental, también se ha trabajado para conseguir una representación de las distintas especialidades musicales, así se incluyen músicos que emplean instrumentos de cuerda y de viento por igual, distribuyéndose en 11 especialidades diferentes: violín, viola, violoncello y contrabajo pertenecientes a la familia de cuerda y clarinete, fagot, flauta travesera, oboe, trompa, trompeta y tuba dentro de la familia de viento. Además, tal y como se recoge en la Tabla 4, también hay variables de balanceo secundario como son la edad, la lateralidad de los participantes, y la participación en actividades de la vida diaria avanzadas y cognitivamente estimulantes (AVDAyCE), que se recogieron en la fase en que se realizó la evaluación neurocognitiva.

4.1.2. No músicos

Para la formación del grupo de no músicos se seleccionaron 50 participantes cuyas características sociodemográficas, detalladas en la Tabla 4, se igualaron a las del grupo de músicos. Estos participantes se ajustan a un criterio de inclusión fundamental con respecto a su nivel de conocimientos musicales: no tocan ningún instrumento ni tienen formación musical alguna más allá de la recibida en la educación general obligatoria. Para el muestreo de este grupo se ha recurrido fundamentalmente a centros oficiales de idiomas, instituciones educativas y algunas asociaciones culturales y vecinales de la Comunidad autónoma de Galicia.

En la Tabla 4 se presenta una descripción de la muestra según las variables de control registradas para cada grupo en función de los balanceos realizados.

Tabla 4. Descripción de la muestra según las variables de control

		Variables	Músicos	No músicos	Total
Variables de balanceo primario	Sexo (n)	Hombre	25	25	50
		Mujer	25	25	50
	Nacionalidad (n)	Española	25	25	50
		Otras	25	25	50
	Categoría instrumental (n)	Cuerda	25	-	25
		Viento	25	-	25
Variables de balanceo secundario	Edad (M y SD)		41,04 (5,95)	41,60 (6,32)	41,32 (6,14)
	Lateralidad (n)	Diestro	48	47	95
		Zurdo	2	3	5
	AVDayCE (M y SD)		10,08 (1,43)	10,70 (1,51)	10,39 (1,47)
	Edad de inicio del entrenamiento musical (n)	<7 años	16	-	16
		7-9 años	19	-	19
		>9 años	15	-	15

Nota: AVDAYCE: actividades de la vida diaria avanzadas y cognitivamente estimulantes.

4.2. MATERIAL

Para llevar a cabo esta investigación se realizó, en primer un lugar, una valoración previa de cada participante en la que se recogieron datos sociodemográficos y clínicos, además de información acerca de la historia musical en el grupo de músicos. En segundo lugar, se llevó a cabo una evaluación neuropsicológica a todos los participantes seleccionados para formar parte de este estudio. Las particularidades de los materiales utilizados para realizar ambas valoraciones se detallan a continuación:

4.2.1. Cuestionarios de evaluación previa

Con el objetivo de realizar una valoración previa para obtener información de los participantes de interés para la investigación, se aplicaron los siguientes cuestionarios:

- a) *Cuestionario sobre datos sociodemográficos y clínicos* elaborado para esta investigación con la finalidad de verificar el cumplimiento de todos los criterios de inclusión descritos, así como describir las características de la muestra. El cuestionario permite recoger, mediante autoinforme, información referente al perfil sociodemográfico de los participantes (sexo, edad, país de origen, años de residencia en España, dominio de idiomas, nivel educativo, etc.), así como datos clínicos de interés neuropsicológico, como los referentes a variables médicas, neurológicas, psiquiátricas y de hábitos de consumo de sustancias que pudieran afectar al rendimiento en las tareas aplicadas.
- b) Adaptación del *Cuestionario “Musical Experience Questionnaire” (MEQ)* desarrollado por el laboratorio de Bailey & Penhune (2010), aplicado únicamente al grupo de músicos. Este cuestionario nos ha permitido realizar un registro de información de interés referente a la historia musical mediante autoinforme, con el cual obtuvimos datos referentes a los años de experiencia profesional, tiempo de estudio grupal e individual, interrupciones del entrenamiento musical, categoría instrumental y edad de inicio del entrenamiento musical.

4.2.2. Batería de evaluación neuropsicológica

Antes de comenzar la evaluación neuropsicológica de la muestra se realizó una valoración inicial con la finalidad de obtener información complementaria y de interés para completar datos sobre las características de los participantes, así como para interpretar los resultados obtenidos. La valoración consistió en determinar la lateralidad manual de cada participante así como su participación en AVDAyCE. El material aplicado para esta valoración inicial es el siguiente:

- ❖ *Inventario de Lateralidad de Edimburgo* (Oldfield, 1971) con el cual, mediante autoinforme, se evalúa la dominancia manual de los participantes y contribuye a la descripción de los mismos. Es un cuestionario sencillo y breve con diez preguntas, que permite establecer el grado de preferencia de uso de una mano u otra en un rango de 1 a 5 (derecha muy preferentemente, derecha preferente, mano indiferente, izquierda preferente, izquierda muy preferente, respectivamente) para escribir, dibujar, lanzar un objeto, usar la tijera, cuchillo, cuchara, escoba, cepillarse los dientes, etc.

- ❖ Adaptación del *Cuestionario de Scarmeas et al.* (2003) para realizar una valoración de la participación en AVDAyCE. Se trata de un cuestionario autoaplicado de 18 ítems, en el que el participante responde en términos de frecuencia en relación a la realización de una serie de actividades en los últimos seis meses. Respetando la propuesta original, la frecuencia se registra en una escala tipo Likert de tres puntos en la que se considera “*nunca*” (1 punto), “*a veces*” (2 puntos) y “*a menudo*” (3 puntos). El cuestionario permite obtener una puntuación con respecto al grado de participación en actividades como la lectura, juegos de mesa, asistencia a distintas actividades culturales, o la realización de actividades físicas, sociales, productivas y/o recreativas.

Para realizar la valoración del rendimiento de los músicos y con la finalidad de explorar de modo exhaustivo distintas dimensiones del funcionamiento cognitivo, se diseñó una batería de evaluación neurocognitiva *ad hoc* para esta investigación (Tabla 5). A la hora de seleccionar las tareas que debían formar parte de la batería se tuvieron en cuenta los objetivos planteados, la finalidad de la evaluación y las características de los participantes, lo cual llevó a elaborar una batería centrada en el estudio de los procesos cognitivos fundamentales, compuesta por diferentes pruebas que permiten la valoración de cada uno de ellos. En lo que respecta a las características de estas tareas, se tuvieron en cuenta sus propiedades psicométricas en cuanto a validez (miden lo que se pretende medir), confiabilidad (miden adecuadamente lo que pretenden medir), sensibilidad (capacidad para detectar dificultades o déficit) y especificidad (capacidad para detectar la ausencia de dificultades).

La selección final de las pruebas incluye test específicos de función para evaluar las distintas funciones cognitivas y sus componentes, recurriendo para ello a test de uso frecuente en neuropsicología, tanto en el ámbito científico como en el aplicado. Además, también se ha incluido la Escala de inteligencia de Wechsler para adultos-IV (WAIS-IV) (Wechsler, 2012), la cual, aunque no fue desarrollada para ser utilizada como instrumento neuropsicológico, hoy en día está reconocida como una parte fundamental de estas baterías.

Tabla 5. Tareas que componen la Batería de Evaluación Neuropsicológica

Valoración inicial	Inventario de Lateralidad de Edimburgo
	Adaptación del Cuestionario de Scarmeas y colaboradores
Test específicos de función	Test del Trazo, parte A y B
	Test de los cubos de Corsi
	Test de aprendizaje auditivo-verbal de Rey
	Figura compleja de Rey: copia y reproducción de memoria
	Juicio de orientación de líneas de Benton
	Tablero de clavijas de Purdue
	Test del golpeteo
	Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin-64
Escala de inteligencia	Test de búsqueda de las llaves (BADS)
	Test Stroop de colores y palabras
	Escala de inteligencia de Wechsler para adultos-IV (WAIS-IV)

Nota: BADS: Batería de Evaluación Conductual del Síndrome Disejecutivo

La escala WAIS-IV es un instrumento de aplicación individual diseñada para evaluar la aptitud intelectual general de los adultos con una edad comprendida entre los 16 y los 89 años. En este caso se ha optado por la aplicación de las diez tareas principales, lo cual permite obtener una medida de las distintas capacidades cognitivas específicas y de la capacidad intelectual general, e incluso, a través del rendimiento obtenido en cada una de las distintas tareas o subtest, incorporar esas puntuaciones para contribuir a la evaluación de algunas de las funciones cognitivas mediante test específicos de función. Teniendo en cuenta que algunas de las tareas, tanto de la WAIS-IV como de los test específicos de función, permiten la evaluación de diferentes funciones y/o componentes cognitivos, para decidir la función en la que se incluye se han seguido no sólo las indicaciones del manual de la WAIS-IV sino también lo indicado en el manual de evaluación neuropsicológica de Lezak et al. (2012). En la Tabla 6 se presentan las funciones y las tareas aplicadas para evaluar cada una de ellas y, en el caso de la WAIS-IV, las puntuaciones compuestas que permiten su valoración. A continuación, se realiza una breve descripción de los instrumentos incluidos en la batería de evaluación neurocognitiva.

Tabla 6. Test utilizados y funciones cognitivas que evalúan

Función	Test utilizado
Atención y memoria de trabajo	WAIS-IV: Subtest de Dígitos
	WAIS-IV: Subtest de Aritmética
	Test de los cubos de Corsi
	Test del Trazo, parte A
Velocidad de procesamiento de la información	WAIS-IV: Subtest de Búsqueda de símbolos
	WAIS-IV: Subtest de Clave de números
Memoria y aprendizaje	Test de aprendizaje auditivo-verbal de Rey
	Reproducción de memoria de la Figura compleja de Rey
Comprensión verbal	WAIS-IV: Subtest de Vocabulario
	WAIS-IV: Subtest de Información
	WAIS-IV: Subtest de Semejanzas
Razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas	WAIS-IV: Subtest de Matrices
	WAIS-IV: Subtest de Puzles visuales
	WAIS-IV: Subtest de Cubos
	Copia de la Figura compleja de Rey
	Juicio de orientación de líneas de Benton
Habilidades motoras	Tablero de clavijas
	Test del golpeteo
Funciones ejecutivas	Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin-64
	Test de búsqueda de las llaves (BADs)
	Test del trazo, parte B
	Test Stroop de colores y palabras
Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general	WAIS-IV: Índice de Comprensión Verbal (ICV)
	WAIS-IV: Índice de Razonamiento Perceptivo (IRP)
	WAIS-IV: Índice de Memoria de Trabajo (IMT)
	WAIS-IV: Índice de Velocidad de Procesamiento (IVP)
	WAIS-IV: Cociente de Inteligencia Total (CIT)

Nota: BADs: Batería de Evaluación Conductual del Síndrome Disejecutivo

a) Atención y memoria de trabajo

- *Subtest de Dígitos (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). Este test se compone de tres tareas:
 - Dígitos directos, que consiste en repetir una serie de dígitos en el mismo orden en que se presentan oralmente. Evalúa memoria, atención y aprendizaje mecánico.
 - Dígitos inversos, consiste en repetir una serie de dígitos en orden inverso al presentado. Implica atención, memoria de trabajo y la manipulación de las representaciones mentales.
 - Dígitos en orden creciente, consiste en repetir, ordenándolos de menor a mayor, los números leídos por el examinador. Mide atención, memoria de trabajo y control mental.

Además se añade una cuarta puntuación (total) extraída de la suma de las puntuaciones de estas tres partes. Por otro lado, el paso de una tarea a otra requiere flexibilidad cognitiva y agilidad mental.

- *Subtest de Aritmética (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). Este test consiste en resolver mentalmente problemas aritméticos dando respuesta en un tiempo límite. De esta forma se evalúa la habilidad para utilizar conceptos numéricos abstractos, operaciones numéricas, la capacidad de atención y concentración y la memoria de trabajo.

Como una medida general de la memoria de trabajo del participante, la WAIS-IV nos ofrece la posibilidad de calcular también el *Índice de Memoria de Trabajo (IMT)*, puntuación compuesta extraída a partir de las puntuaciones obtenidas en los subtest de Dígitos y Aritmética.

- *Test de los Cubos de Corsi* (Corsi, 1973). Este test se compone de dos partes: orden directo y orden inverso. En los dos casos el examinador va tocando en un orden determinado una serie de cubos que se presentan distribuidos a lo largo de la superficie de un tablero y que van aumentando en un cubo de ensayo a ensayo. En la primera parte el participante debe repetir la secuencia en el mismo orden de presentación, mientras que en la segunda parte debe repetirla en orden inverso. Además se añade una tercera puntuación (total) resultado de la suma de esas dos partes. Con esta tarea se evalúa capacidad de atención, memoria de trabajo, memoria visual a corto plazo, coordinación visomotora y capacidad de aprendizaje.
- *Test del Trazo, parte A* (Reitan, 1958). Esta tarea consta de una serie de círculos numerados que el participante ha de unir correlativamente con un trazo de lápiz. Con ella se evalúa no sólo atención sino también rapidez perceptivo-motora, velocidad de procesamiento de la información y exploración visoconceptual y visomotora.

b) Velocidad de procesamiento de la información

- *Subtest de Búsqueda de Símbolos (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). En esta tarea se presentan filas con dos grupos de símbolos: un grupo clave (compuesto por dos símbolos) y un grupo de búsqueda (compuesto por cinco símbolos). El participante debe decidir si alguno de los símbolos del grupo clave se encuentra contenido en el grupo de búsqueda, contestando al mayor número de filas posibles en un tiempo límite. Además de evaluar velocidad de procesamiento, evalúa también memoria visual a corto plazo, coordinación y velocidad visomotora, flexibilidad cognitiva, atención y concentración.
- *Subtest de Clave de Números (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). Este test consiste en copiar una serie de símbolos que aparecen emparejados cada uno a un número. El participante dibujará, debajo de cada número, el símbolo que le corresponda dentro de un tiempo

límite. Se evalúa velocidad psicomotora, coordinación visomotora, memoria visual a corto plazo, capacidad de aprendizaje, percepción visual, atención y flexibilidad cognitiva.

Como una medida general de la velocidad de procesamiento de la información del participante, la WAIS-IV nos ofrece la posibilidad de calcular también el *Índice de Velocidad de Procesamiento (IVP)*, puntuación compuesta extraída a partir de las puntuaciones obtenidas en los subtest de Búsqueda de símbolos y Clave de números.

c) Memoria y aprendizaje

- *Test de Aprendizaje Audioverbal de Rey (AAVR)* (Rey, 1964). Esta prueba consiste en cinco presentaciones de una lista de 15 palabras (lista A), seguida cada una de ellas de su recuerdo libre inmediato (ensayos I-V). Tras el quinto ensayo se presenta una lista de interferencia (lista B), se solicita su recuerdo libre y, a continuación, se pide nuevamente el recuerdo de la lista A (ensayo VI). Por último, tras veinte minutos, el participante debe realizar una séptima evocación de la lista A (ensayo VII). Esta prueba permite evaluar memoria inmediata, proporciona una curva de aprendizaje y mide la capacidad de recuerdo después de una interferencia.
- *Reproducción de memoria de la Figura Compleja de Rey (FCR Memoria)* (Rey, 2009). Esta tarea consiste en que el participante reproduzca de memoria una figura compleja sin significado, de la cual ha hecho una copia directa tres minutos antes, obteniéndose puntuaciones referentes a la exactitud de la reproducción y el tiempo empleado para su elaboración. La tarea permite evaluar memoria visual, capacidad constructiva visoespacial, organización perceptiva y funciones viso-gráficas.

d) Comprensión verbal

- *Subtest de Vocabulario (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). En esta tarea, el participante debe definir una serie de palabras presentadas oralmente en orden de dificultad creciente. Permite evaluar el léxico así como la formación de conceptos verbales. Además refleja el nivel educativo, la capacidad de aprendizaje y la riqueza verbal y semántica del ambiente en el que se desenvuelve la persona evaluada.
- *Subtest de Información (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). En esta prueba se ha de responder a una serie de preguntas sobre información que se puede adquirir a través de la educación formal o informal del ambiente en el que se desenvuelve la persona evaluada. Evalúa la capacidad para adquirir, almacenar y recuperar conocimientos referidos a hechos generales, pero también se relaciona con la memoria a largo plazo.

- *Subtest de Semejanzas (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). La tarea consiste en encontrar las semejanzas que hay entre dos palabras referidas a conceptos comunes o entre dos conceptos. Se evalúa así la capacidad para expresar las relaciones entre dos conceptos, el razonamiento verbal y la formación de conceptos.

Como una medida general de la capacidad de comprensión verbal del participante, la WAIS-IV nos ofrece la posibilidad de calcular también el *Índice de Comprensión Verbal (ICV)*, puntuación compuesta extraída a partir de las puntuaciones obtenidas en los subtest de Vocabulario, Información y Semejanzas.

e) **Razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas**

- *Subtest de Matrices (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). En esta prueba el participante tiene que elegir, entre varias opciones posibles, el dibujo que completa una serie o matriz que está incompleta. Se evalúa aptitud espacial, organización perceptiva, inteligencia visual general y capacidad para procesar información visual.
- *Subtest de Puzles Visuales (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). Esta tarea consiste en elegir las tres piezas que completan un puzle que se presenta completo. Con ella se evalúa razonamiento no verbal, capacidad para analizar y sintetizar estímulos visuales abstractos y establecer relaciones entre partes.
- *Subtest de Cubos (WAIS-IV)* (Wechsler, 2012). En este test el participante tiene que construir con unos cubos de color rojo y blanco unos dibujos de dificultad creciente. Evalúa la capacidad de análisis y síntesis de estímulos visuales abstractos, razonamiento y formación de conceptos no verbales, percepción y organización visual, coordinación visomotora e inteligencia visoespacial general.

Como una medida general de la capacidad de razonamiento perceptivo del participante, la WAIS-IV nos ofrece la posibilidad de calcular también el *Índice de Razonamiento Perceptivo (IRP)*, puntuación compuesta extraída a partir de las puntuaciones obtenidas en los subtest de Matrices, Puzles visuales y Cubos.

- *Copia de la Figura compleja de Rey (FCR Copia)* (Rey, 2009). Esta prueba consiste en que el participante copie una figura compleja, registrándose el tiempo empleado para ello. Con ella se evalúa la capacidad constructiva visoespacial, además de valorar las estrategias de resolución de problemas y la capacidad de organización y planificación.
- *Juicio de orientación de líneas de Benton (JOLB)* (Benton et al., 1978). Esta tarea consiste en la presentación de un cuaderno con 30 ítems, en cada uno de los cuales se le pide al participante que seleccione, de entre un conjunto de once líneas dispuestas en un

semicírculo, las dos que coinciden con las expuestas como estímulo. Se evalúa de este modo la capacidad de orientación y percepción visoespacial.

f) Habilidades motoras

- *Tablero de Clavijas de Purdue* (Matthews & Klove, 1964). Este test consiste en que el participante coloque el mayor número de clavijas posible, durante un tiempo limitado, dentro de los agujeros dispuestos en dos columnas en un tablero. En primer lugar utilizará sólo su mano dominante, luego utilizará la mano no dominante, posteriormente colocará las clavijas con las dos manos simultáneamente y, finalmente, tendrá que realizar un montaje. Además de estas cuatro puntuaciones, se calcula una quinta puntuación resultado de la suma de todas las puntuaciones, excluyendo la de montaje (total). Con esta tarea se evalúa destreza manual (rapidez y precisión) y coordinación psicomotora y visoespacial en actividades que implican movimientos amplios de las manos, dedos y brazos.
- *Test del Golpeteo* (Halstead, 1947). En esta prueba el participante tiene que golpear un pulsador, que está conectado a un contador, con el dedo índice a la mayor velocidad posible durante diez segundos. La puntuación final es la media del número de presiones dadas a la palanca en cinco ensayos, obteniéndose una puntuación para cada mano. Se evalúa velocidad y control psicomotor.

g) Funciones ejecutivas

- *Test de Clasificación de Tarjetas de Wisconsin-64 (WCST-64)* (Heaton et al., 2001). Este test consiste en cuatro tarjetas estímulo y 64 tarjetas respuesta que contienen figuras que varían en su forma, color, y número. El participante debe emparejar todas las tarjetas respuesta con las tarjetas estímulo, deduciendo los criterios de clasificación a partir del feedback que le proporciona el examinador tras cada emparejamiento. Permite la obtención de once puntuaciones diferentes (total de correctas, número total de errores, respuestas perseverativas, errores perseverativos, errores no perseverativos, respuestas de nivel conceptual número de categorías completadas, intentos para completar la primera categoría, número de fallos para mantener la categoría y aprender a aprender). Con esta prueba se evalúa la formación de conceptos, la flexibilidad cognitiva, el razonamiento abstracto y la capacidad para adaptarse a las contingencias externas. Se considera una medida de las funciones ejecutivas en tanto que requiere de habilidad para desarrollar y mantener una estrategia adecuada para resolver un problema, mientras cambian las condiciones estímulares.

- *Subtest de Búsqueda de las Llaves (BADS Llaves)* (B. A. Wilson et al., 1997). En este subtest incluido dentro de la Batería de Evaluación Conductual del Síndrome Disejecutivo (BADS), en primer lugar se le pide al participante que imagine que el cuadrado dibujado en una hoja de papel es un amplio campo en el que ha perdido las llaves. A continuación, se le dice que dibuje una línea, empezando en un punto determinado, para indicar qué recorrido seguiría para buscar las llaves y estar totalmente seguro de encontrarlas. Este subtest evalúa la capacidad de planificación de un curso de acción en una tarea análoga a una actividad de la vida real, informando de la eficiencia de la búsqueda.
- *Test del Trazo, parte B* (Reitan, 1958). Esta tarea consta de una serie de círculos, con números y letras en su interior, que el participante ha de unir con un trazo de lápiz alternando entre números, en orden ascendente, y letras en orden alfabético. Este test valora flexibilidad mental, rapidez perceptivo-motora, habilidades de rastreo visual y exploración visoconceptual y visomotora, control inhibitorio, atención y velocidad de procesamiento de la información.
- *Test Stroop de Colores y Palabras* (Golden, 1978). Esta tarea se compone de tres láminas que el participante debe leer en un tiempo limitado para cada una. En la primera lámina ha de leer las palabras rojo, verde y azul impresas en tinta negra, y dispuestas aleatoriamente en columnas. En la segunda debe nombrar el color de la tinta con que están impresos los símbolos “xxx” y finalmente, en la tercera lámina aparecen las palabras rojo, verde y azul escritas con tinta de estos colores. El participante debe leer el color de la tinta desatendiendo a la palabra escrita. Con base en las tres puntuaciones obtenidas del número total de elementos leídos en cada una de las láminas, se calcula una cuarta puntuación de interferencia. Con esta prueba se valora flexibilidad cognitiva, control inhibitorio, fluidez verbal y velocidad de procesamiento.

h) Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general

La WAIS-IV (Wechsler, 2012) está formada por quince pruebas, diez principales y cinco opcionales que están organizadas en cuatro escalas: Comprensión verbal (ICV), Razonamiento perceptivo (IRP), Memoria de trabajo (IMT) y Velocidad de procesamiento (IVP). Las pruebas que forman parte de cada escala se utilizan para calcular la puntuación en cada uno de los cuatro índices que reflejan el funcionamiento intelectual en dominios cognitivos específicos (Tabla 7). Además, la puntuación de cada escala contribuye a la puntuación de la Escala total, puntuación a partir de la cual se calcula el CI total. En este trabajo, para hacer una valoración de las distintas capacidades cognitivas específicas de los participantes y la capacidad intelectual general, hemos utilizado las puntuaciones compuestas obtenidas en estos cuatro índices, así como la

puntuación del CI Total, que es considerada como la medida más válida de la aptitud cognitiva general de una persona.

Tabla 7. Puntuaciones compuestas obtenidas con la WAIS-IV

Puntuaciones compuestas	Subtest
Índice de Comprensión Verbal (ICV)	Semejanzas
	Vocabulario
	Información
Índice de Razonamiento Perceptivo (IRP)	Cubos
	Matrices
	Puzles visuales
Índice de Memoria de Trabajo (IMT)	Dígitos
	Aritmética
Índice de Velocidad de Procesamiento (IVP)	Búsqueda de símbolos
	Clave de números

4.3. PROCEDIMIENTO DE RECOGIDA DE DATOS

El procedimiento utilizado para recopilar los datos de cada grupo de participantes de esta investigación se desarrolló en cuatro fases, estructuradas según el esquema presentado en la Tabla 8. En primer lugar se reclutó y evaluó al grupo de músicos y, a continuación, se procedió de forma homóloga con el grupo de no músicos.

Tabla 8. Fases de la recogida de datos

1. Reunión informativa
2. Envío de Cuestionarios
3. Selección de los participantes
4. Evaluación neuropsicológica

Para el reclutamiento del grupo de músicos, se concertaron sendas reuniones en los centros de ensayo de cada agrupación. En estas reuniones se explicaron los detalles de la investigación, su naturaleza voluntaria y el tratamiento confidencial y anónimo de los datos obtenidos, además de recoger los datos de contacto de los voluntarios/as interesados/as en participar, los cuales dieron su consentimiento informado. En segundo lugar se envió, en formato electrónico a todos los voluntarios/as, el *Cuestionario sobre datos sociodemográficos y clínicos* y la adaptación del *Cuestionario MEQ* diseñados para esta investigación. Una vez registradas todas las respuestas, se procedió a la selección de los participantes después de aplicar los criterios de inclusión generales (Tabla 1), y los específicos para los músicos (Tabla 3). Con la finalidad de poder disponer de una muestra con una representación equilibrada en cuanto a sexo, nacionalidad y categoría instrumental se realizó un balanceo primario de estas variables (Tabla 4).

Una vez realizada selección de los participantes, se procedió a citarlos, vía correo electrónico, para llevar a cabo la evaluación neuropsicológica, que se realizó de modo

individual y con las mismas características de aplicación para todos. En cuanto a la localización, y para garantizar las mismas condiciones a la hora de realizar las tareas, se llevó a cabo en aulas con similares características de tamaño, mobiliario, ventilación, acústica y luminosidad en cada uno de los centros de trabajo de los participantes. La estructura de la evaluación constó de dos sesiones de aproximadamente 45 minutos de duración cada una. Con la finalidad de establecer una adecuada empatía y potenciar la colaboración de los participantes, antes de iniciar la evaluación se explicó el propósito y naturaleza del examen, la utilización que se dará a la información recabada, se garantizó la confidencialidad, y también se les ofreció una breve explicación de las tareas a realizar. También se ha tenido en cuenta el orden de administración de las tareas con la finalidad de evitar interferencias entre las distintas funciones a evaluar y para evitar la fatiga (Tabla 9). En el caso de los distintos subtest de la WAIS-IV utilizados, se siguió el orden establecido en el manual de aplicación de la escala (Wechsler, 2012). Las distintas tareas que componen la batería de evaluación neurocognitiva (Tabla 5), se aplicaron siguiendo las instrucciones recogidas en los manuales de cada test.

Tabla 9. Orden de aplicación de la Batería de Evaluación Neuropsicológica

Orden	Pruebas
1	Inventario de Lateralidad de Edimburgo
2	Adaptación del Cuestionario de Scarmeas y colaboradores
3	Test de los cubos de Corsi
4	Test de aprendizaje auditivo-verbal de Rey
5	Test del Trazo A y B
6	Test de Stroop
7	Tablero de clavijas
8	Test de aprendizaje audioverbal de Rey: recuerdo demorado
9	Escala de inteligencia de Wechsler para Adultos-IV (WAIS-IV)
10	Juicio de orientación de líneas de Benton
11	Figura compleja de Rey: copia
12	Test del golpeteo
13	Figura compleja de Rey: reproducción de memoria
14	Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin-64
15	Test de búsqueda de las llaves (BADS)

Nota: BADS: Batería de Evaluación Conductual del Síndrome Disejecutivo

Una vez que se completó la evaluación neuropsicológica de todos los músicos, se inició un procedimiento homólogo para reclutar y evaluar al grupo de no músicos. El reclutamiento de este segundo grupo se realizó atendiendo no sólo a los criterios de inclusión generales (Tabla 1), sino también a la distribución sociodemográfica de los mismos, para igualarlos a los del grupo de músicos (Tabla 4). La diferencia principal entre ambos grupos radica en que los no

músicos carecen de conocimientos musicales más allá de los que hayan podido recibir en la educación general obligatoria.

4.4. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

Las variables analizadas para valorar el rendimiento neurocognitivo de los músicos, las distintas capacidades cognitivas específicas, así como la capacidad intelectual general, formadas por las distintas puntuaciones obtenidas de la aplicación de las tareas que componen la evaluación neurocognitiva realizada a todos los participantes, se recogen en la Tabla 10. Así mismo, teniendo en cuenta los resultados obtenidos en estos análisis, hemos optado por reducir el número de variables a analizar para determinar si existen diferencias en el rendimiento neurocognitivo de los músicos en función del sexo, la categoría instrumental y la edad a la que iniciaron el entrenamiento musical, a aquellas puntuaciones principales obtenidas de la aplicación de cada tarea. En la Tabla 10 también se señalan en cursiva las tareas y las variables registradas para realizar estas comparaciones. Como consecuencia de este ajuste en las variables dependientes a analizar, se presentan dos tablas para cada apartado, recogiendo en la primera los resultados relativos a los test específicos de función y, en la segunda, los cuatro índices de la WAIS-IV, representativos de las cuatro capacidades cognitivas específicas y de la capacidad intelectual general.

Tabla 10. Variables registradas en la Batería Neurocognitiva

Atención y Memoria de Trabajo	
WAIS-IV: Subtest de Dígitos	Puntuación directa: orden directo, inverso, creciente y total
WAIS-IV: Subtest de Aritmética	Puntuación directa
Test de los Cubos de Corsi	Puntuación directa: orden directo, inverso y total
Test del Trazo, parte A	Tiempo en segundos
Velocidad de procesamiento de la información	
WAIS-IV: Subtest de Búsqueda de símbolos	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Clave de números	Puntuación directa
Memoria y Aprendizaje	
<i>Test de aprendizaje auditivo-verbal de Rey</i>	<i>Puntuación memoria inmediata (I), aprendizaje (I-V) y recuerdo demorado (VII)</i>
<i>Figura compleja de Rey: memoria</i>	<i>Tiempo en segundos y puntuación directa</i>
Comprensión verbal	
WAIS-IV: Subtest de Vocabulario	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Información	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Semejanzas	Puntuación directa
Razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas	
WAIS-IV: Subtest de Matrices	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Puzles Visuales	Puntuación directa
WAIS-IV: Subtest de Cubos	Puntuación directa
Figura compleja de Rey: copia	Tiempo en segundos y puntuación directa
Juicio de orientación de Líneas de Benton	Puntuación directa
Habilidades motoras	
<i>Tablero de clavijas de Purdue</i>	<i>Puntuación mano dominante, mano no dominante, ambas manos, montaje y total</i>
<i>Test del Golpeteo</i>	<i>Puntuación mano dominante y mano no dominante</i>
Funciones ejecutivas	
WCST-64	Total de categorías completadas y total de errores
Test de Búsqueda de las llaves (BADS)	Puntuación directa
Test del Trazo, parte B	Tiempo en segundos
Test Stroop de colores y palabras	Total de elementos leídos en las Láminas 1, 2 y 3 y puntuación de interferencia
Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general	
WAIS-IV: Índice de Comprensión Verbal	Puntuación compuesta
WAIS-IV: Índice de Razonamiento Perceptivo	Puntuación compuesta
WAIS-IV: Índice de Memoria de Trabajo	Puntuación compuesta
WAIS-IV: Índice de Velocidad de Procesamiento	Puntuación compuesta
WAIS-IV: Capacidad Intelectual General	Puntuación compuesta

Nota: BADS: Batería de Evaluación Conductual del Síndrome Disejectivo

En lo que respecta a los análisis de las diferencias en el rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos en función del sexo, la categoría instrumental y la edad de inicio del entrenamiento musical, se realizaron distintas divisiones muestrales. En primer lugar, para observar la influencia del sexo se dividió a los participantes, tanto al grupo de músicos como al de no músicos, en función del sexo, lo que nos permitió determinar si las diferencias encontradas en el grupo de músicos también se apreciaban en sus homólogos no músicos. En segundo lugar, en cuanto a la influencia de la categoría instrumental, siguiendo el modelo convencional más utilizado de clasificación en las formaciones musicales clásicas y, teniendo en cuenta los requerimientos específicos de cada instrumento, se dividió al grupo de músicos en función de si tocaban instrumentos de cuerda, aquellos que producen el sonido mediante la vibración de cuerdas tensadas, o de viento, instrumentos que generan el sonido a partir de la vibración del aire. Por último, con respecto a la influencia de la edad de inicio del entrenamiento musical, basándonos en los resultados de estudios previos, se dividió a los músicos en tres grupos; un primer grupo de participantes que comenzaron su entrenamiento musical antes de los siete años de edad, un segundo grupo cuyo comienzo del entrenamiento se localiza entre los siete y los nueve años y un último grupo que comenzó con posterioridad a los nueve años.

En cuanto al procesamiento de los datos y su correspondiente análisis estadístico, se utilizó el paquete estadístico SPSS 21. El estadístico de contraste utilizado fue la prueba t de Student, considerando como significativa una diferencia de $p < ,05$. Como medida del tamaño del efecto se utilizó el coeficiente g de Hedges (Hedges, 1981), preferible al más conocido estimador d de Cohen ya que presenta un menor sesgo cuando no se asume la igualdad de varianzas. Así mismo, para evitar el sesgo de sobrestimación de esta medida, se utilizó un ajuste de la g propuesto por el propio Hedges (Hedges & Olkin, 1985). Según las pautas propuestas por Cohen (1988), los tamaños de efecto alrededor de ,20; ,50 y ,80 se interpretaron como reflejo de relevancia práctica baja, media y alta, empleando, además, la aproximación a los valores percentiles elaborada por Castillo (2009). Adicionalmente se optó por utilizar ANOVAs cuando las características de las variables dependientes analizadas así lo requirieron y eta cuadrado como medida estandarizada del tamaño del efecto en este caso.



RESULTADOS



5. RESULTADOS

Para presentar los resultados hemos seguido el mismo orden que en los *Objetivos* planteados, incorporando un apartado previo en el que se muestran los resultados del análisis de las características de los participantes en el estudio. A continuación, en primer lugar se informa de los análisis realizados para valorar el rendimiento neurocognitivo de los músicos en las distintas funciones cognitivas. En segundo lugar se analizan las capacidades cognitivas específicas y la capacidad intelectual general para, por último, informar sobre las posibles diferencias en función del sexo, la categoría instrumental y la edad de inicio del entrenamiento musical en el rendimiento de los músicos.

5.1. ANÁLISIS DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO

Los análisis realizados sobre las características sociodemográficas de la muestra, no han mostrado diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de músicos y el de no músicos en cuanto a edad, sexo, lateralidad y nacionalidad. Sin embargo, con respecto a la participación en AVDAyCE, los no músicos sí que han obtenido una puntuación significativamente superior a la de los músicos ($t(98) = -2,11; p = ,038; g = ,42$).

5.2. ANÁLISIS DEL RENDIMIENTO NEUROCOGNITIVO DE LOS MÚSICOS

Con la finalidad de dar cumplimiento al primer objetivo del estudio, se llevaron a cabo análisis para determinar si existían diferencias significativas entre el grupo de músicos y el de no músicos en cada una de las tareas neurocognitivas administradas. Los resultados, organizados según las funciones cognitivas previamente establecidas, se presentan en las Tablas 11 a 17. En cada una de las tablas se muestran las puntuaciones medias y desviaciones típicas de los dos grupos, así como los valores de la *t* de Student, la probabilidad y la *g* de Hedges para cada medida registrada. Además, en la Figura 10 se representa el rendimiento neurocognitivo del grupo de músicos y el de no músicos en todas las medidas neurocognitivas registradas, una vez transformadas las puntuaciones directas a puntuaciones *Z* y corregida la dirección de aquellas variables que lo han requerido.

5.2.1. Atención y Memoria de trabajo

Los resultados de los análisis de las tareas utilizadas para valorar las funciones cognitivas de atención y memoria de trabajo se muestran en la Tabla 11. En lo que respecta a las cinco variables incluidas en la *WAIS-IV*, la única que no ha mostrado significación estadística a favor del grupo de músicos, a pesar de que la media de este grupo es superior a la del grupo de no músicos, ha sido la variable *Dígitos creciente*. Las tres puntuaciones obtenidas en el tablero de

los *Cubos de Corsi* muestran diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo de músicos y, con respecto al tiempo empleado para la realización de la parte A del *Test del Trazo*, de nuevo, el grupo de músicos obtiene un rendimiento significativamente mayor que el grupo de no músicos, puesto que ha tardado menos tiempo, de media, en realizar esta tarea. Por último, destacar que el tamaño del efecto apreciado en la mayor parte de las puntuaciones es alto, alcanzando incluso valores superiores a 1 en varias medidas.

Tabla 11. Rendimiento en atención y memoria de trabajo

		Músicos ($n_1=50$)		No músicos ($n_2=50$)		t	p	g
		M	SD	M	SD			
WAIS-IV	Dígitos directo	11,44	2,15	9,32	2,16	4,91	,000	,98
	Dígitos inverso	11,10	2,38	9,10	2,09	4,46	,000	,89
	Dígitos creciente	10,36	2,16	9,60	2,07	1,79	,076	,36
	Dígitos total	32,90	4,94	28,04	4,92	4,93	,000	,98
	Aritmética	17,02	2,85	14,98	3,22	3,36	,001	,67
Cubos de Corsi	Orden directo	10,28	1,58	8,42	1,67	5,73	,000	1,14
	Orden inverso	9,62	1,72	8,58	1,57	3,16	,002	,63
	Total	19,90	2,92	17,00	2,58	5,27	,000	1,04
Test del trazo	Parte A	22,12	5,90	25,50	6,95	-2,62	,010	-,52

Nota: WAIS-IV: Escala de inteligencia de Weschler para adultos IV. g : medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la g de Hedges.

5.2.2. Velocidad de procesamiento de la información

La valoración de la velocidad de procesamiento de la información, cuyos resultados se presentan en la Tabla 12, se llevó a cabo mediante las dos tareas que ofrece la *WAIS-IV* para evaluar esta función. En la tarea *Búsqueda de símbolos*, a pesar de que la media del grupo de músicos es superior a la media del grupo de no músicos, esta diferencia no ha alcanzado significación estadística, sin embargo, la puntuación obtenida en el subtest *Clave de números* ha mostrado diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo de músicos, con un tamaño del efecto medio-alto.

Tabla 12. Rendimiento en velocidad de procesamiento de la información

		Músicos ($n_1=50$)		No músicos ($n_2=50$)		t	p	g
		M	SD	M	SD			
WAIS-IV	Búsqueda de símbolos	37,84	7,73	35,48	5,94	1,71	,090	,34
	Clave de números	79,86	13,11	70,02	13,46	3,70	,000	,73

Nota: WAIS-IV: Escala de inteligencia de Weschler para adultos IV. g : medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la g de Hedges.

5.2.3. Memoria y aprendizaje

Como ya se informó, se incluyeron también medidas para valorar tanto la memoria verbal como la visual. Los resultados de los análisis realizados sobre las variables registradas, aparecen reflejados en la Tabla 13. En lo que respecta a la memoria verbal, que también incluye una medida de la capacidad de *Aprendizaje*, las puntuaciones medias del grupo de músicos superan a las del grupo de no músicos en todas las variables, alcanzando significación estadística en todos los valores excepto en memoria *Inmediata*. En cuanto al análisis de la memoria visual, los resultados han mostrado que, pese a que el *Tiempo* medio en realizar el dibujo por parte de los dos grupos no cuenta con una diferencia estadística significativa, la *Puntuación* obtenida por el grupo de músicos es significativamente mayor que la del grupo de no músicos. En las variables significativas el tamaño del efecto es alto.

Tabla 13. Rendimiento en memoria y aprendizaje

		Músicos ($n_1=50$)		No músicos ($n_2=50$)		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>g</i>
		M	SD	M	SD			
AAVR	Inmediata	7,56	2,20	6,90	1,94	1,59	,114	,32
	Aprendizaje	59,90	6,98	54,68	7,54	3,59	,001	,71
	Demorado	13,74	1,85	11,90	2,41	4,28	,000	,85
FCR Memoria	Tiempo	144,72	63,56	136,42	46,03	,75	,456	,15
	Puntuación	21,42	6,05	18,37	4,67	2,82	,006	,56

Nota: AAVR: Test de aprendizaje auditivo-verbal de Rey. FCR: Figura compleja de Rey. *g*: medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la *g* de Hedges.

5.2.4. Comprensión verbal

Los análisis realizados para determinar la capacidad de comprensión verbal de los dos grupos, incluyeron las puntuaciones de las tres pruebas principales que la *WAIS-IV* ofrece para valorar esta función (Tabla 14). Los resultados obtenidos muestran diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo de músicos en todas las medidas analizadas. Además, cabe destacar el alto valor del tamaño del efecto de la diferencia observada para la variable *Semejanzas*, siendo medio para las otras dos.

Tabla 14. Rendimiento en comprensión verbal

		Músicos ($n_1=50$)		No músicos ($n_2=50$)		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>g</i>
		M	SD	M	SD			
WAIS-IV	Vocabulario	41,42	8,92	36,40	7,08	3,12	,002	,62
	Información	19,66	3,51	17,78	3,65	2,62	,010	,52
	Semejanzas	27,42	3,38	22,30	3,74	7,18	,000	1,42

Nota: WAIS-IV: Escala de inteligencia de Weschler para adultos IV. *g*: medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la *g* de Hedges.

5.2.5. Razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas

En la Tabla 15 se recogen los resultados de los análisis para valorar la capacidad de razonamiento perceptivo y las habilidades visoespaciales y visoconstructivas de los dos grupos. Las puntuaciones de las tres pruebas principales de la escala de razonamiento perceptivo de la *WAIS-IV*, muestran diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo de músicos. En lo que respecta a la valoración de las habilidades visoconstructivas, el *Tiempo* medio para llevar a cabo la copia de la *Figura Compleja de Rey* es prácticamente igual para los dos grupos, sin embargo, la *Puntuación* obtenida por el grupo de músicos es significativamente superior a la puntuación obtenida por el grupo de no músicos, siendo el valor del tamaño del efecto de la diferencia especialmente alto para esta variable. Por último, el resultado del *JOLB*, también cuenta con una diferencia estadísticamente significativa a favor del grupo de músicos, con un tamaño del efecto medio.

Tabla 15. Rendimiento en razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas

		Músicos ($n_1=50$)		No músicos ($n_2=50$)		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>g</i>
		M	SD	M	SD			
WAIS-IV	Matrices	22,02	2,28	19,56	3,61	4,07	,000	,81
	Puzles visuales	18,20	4,08	15,98	3,96	2,76	,007	,55
	Cubos	54,96	6,67	50,94	7,23	2,89	,005	,57
FCR Copia	Tiempo	131,50	35,36	131,58	40,73	-,01	,992	,00
	Puntuación	33,94	1,99	30,00	3,53	6,87	,000	1,36
JOLB	Puntuación	27,84	2,16	26,74	2,20	2,52	,013	,50

Nota: WAIS-IV: Escala de inteligencia de Weschler para adultos IV. FCRF: Figura compleja de Rey. JOLB: Juicio de orientación de líneas de Benton. *g*: medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la *g* de Hedges.

5.2.6. Habilidades motoras

Se llevaron a cabo análisis también para determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre el grupo de músicos y el de no músicos en las medidas de las habilidades motoras consideradas (Tabla 16). Como se puede observar, el grupo de músicos obtiene resultados significativamente superiores al grupo de no músicos en todas las variables analizadas, con una media alta del tamaño del efecto.

Tabla 16. Rendimiento en habilidades motoras

		Músicos ($n_1=50$)		No músicos ($n_2=50$)		t	p	g
		M	SD	M	SD			
Tablero de clavijas	Mano dominante	16,50	1,43	15,28	1,73	3,85	,000	,74
	Mano no dominante	15,84	1,52	14,02	1,61	5,82	,000	1,14
	Ambas manos	13,32	1,39	11,82	1,51	5,17	,000	1,01
	Montaje	41,86	5,77	36,00	5,94	5,00	,000	,99
	Total	45,66	3,56	41,14	4,15	5,85	,000	1,13
Test del golpeteo	Mano dominante	61,98	6,62	55,36	6,50	5,05	,000	1,00
	Mano no dominante	56,92	5,80	49,42	6,78	5,94	,000	1,15

Nota: g : medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la g de Hedges.

5.2.7. Funciones ejecutivas

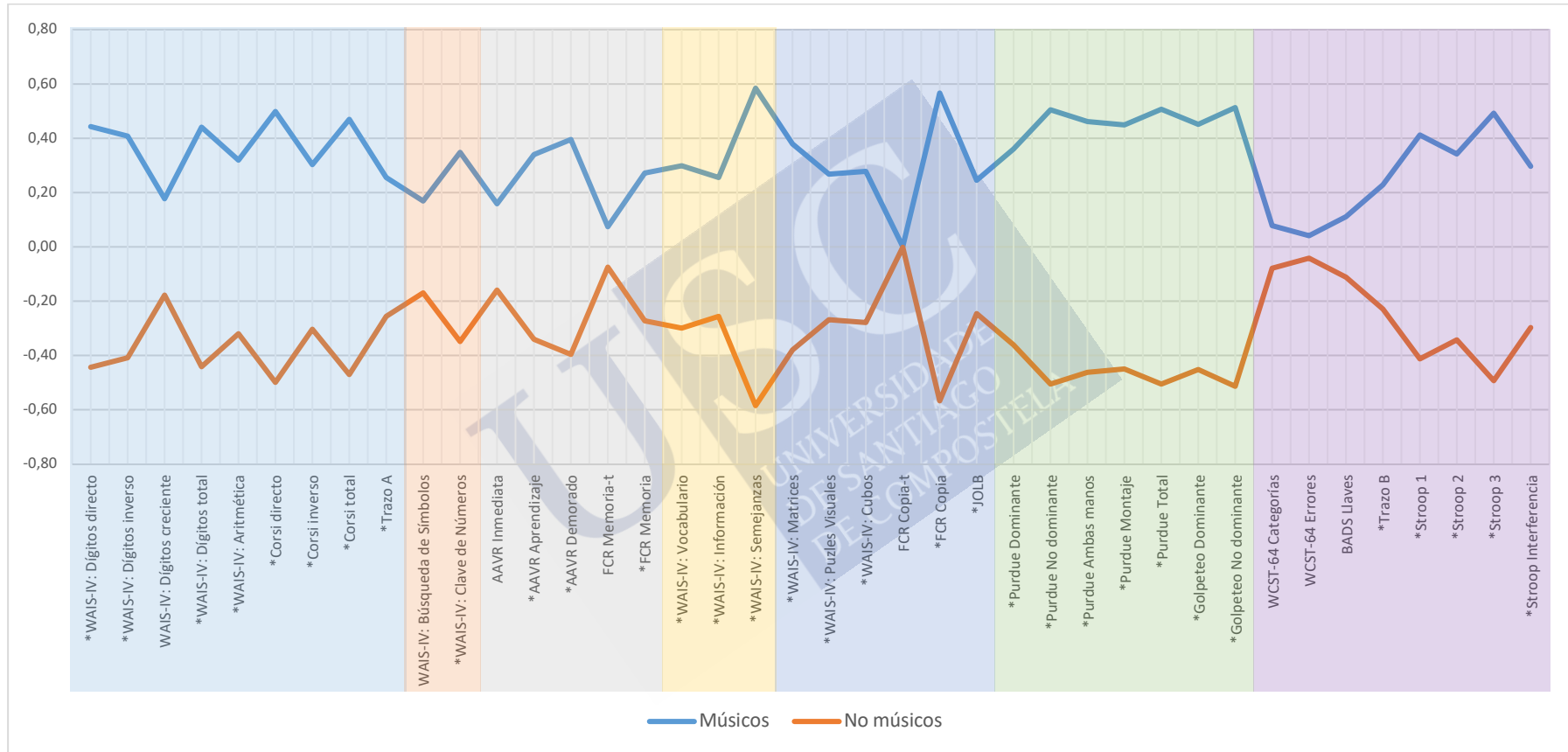
Por último, los resultados de los análisis de las tareas utilizadas para valorar las funciones ejecutivas se muestran en la Tabla 17. Los estadísticos descriptivos de las medidas consideradas para las pruebas *WCST-64* y *BADS* no presentan diferencias significativas entre los dos grupos, sin embargo, las variables utilizadas para el *Test del Trazo* y el *Test de Stroop* alcanzan significación estadística a favor del grupo de músicos, con un tamaño del efecto medio y alto.

Tabla 17. Rendimiento en funciones ejecutivas

		Músicos ($n_1=50$)		No músicos ($n_2=50$)		t	p	g
		M	SD	M	SD			
WCST-64	Categorías	4,46	1,03	4,30	1,04	,77	,441	,15
	Errores	11,02	5,06	11,46	5,49	-,42	,678	-,08
BADS	Llaves	12,28	3,74	11,56	2,65	1,11	,269	,22
Test del trazo	Parte B	51,14	13,18	57,98	15,86	-2,35	,021	-,47
Test Stroop	Lámina 1	123,20	12,43	110,62	15,39	4,50	,000	,89
	Lámina 2	80,88	10,41	71,88	14,16	3,62	,000	,72
	Lámina 3	56,72	7,71	46,44	10,33	5,64	,000	1,13
	Interferencia	7,85	6,04	3,26	8,57	3,10	,003	,62

Nota: WCST-64: Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin-64. BADS: Batería de Evaluación Conductual del Síndrome Disejecutivo g : medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la g de Hedges.

Figura 10. Rendimiento neurocognitivo diferencial entre músicos y no músicos



Nota: * Diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo de músicos

5.3. ANÁLISIS DE LAS CAPACIDADES COGNITIVAS ESPECÍFICAS Y LA CAPACIDAD INTELECTUAL GENERAL DE LOS MÚSICOS

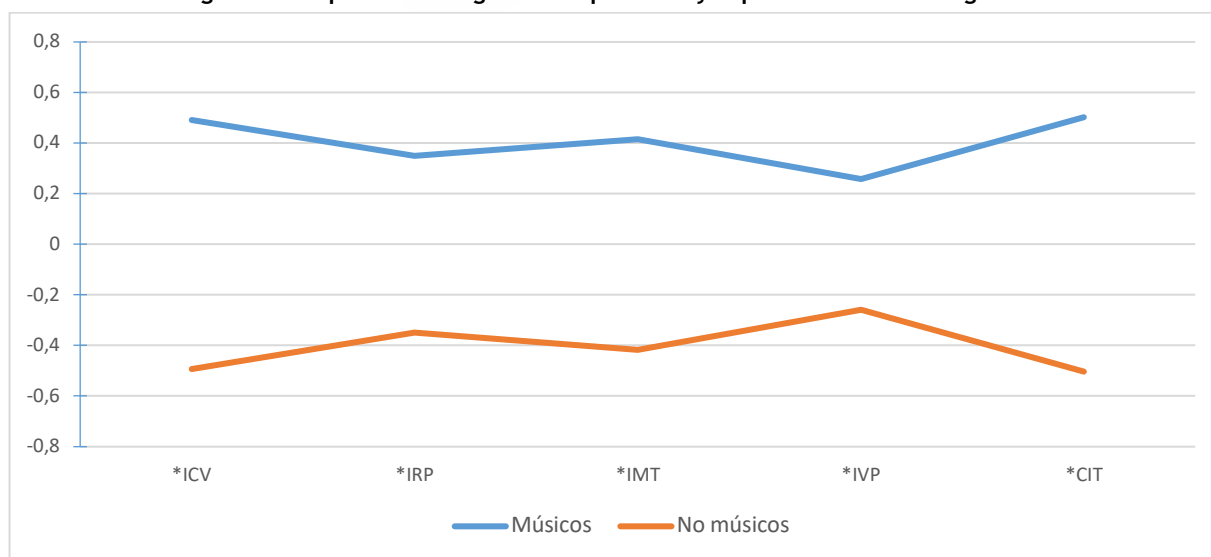
Para valorar las capacidades cognitivas específicas y la capacidad intelectual general del grupo de músicos, y dar así cumplimiento al objetivo número dos, se analizaron las puntuaciones compuestas ofrecidas por la *WAIS-IV*. Dentro de estas puntuaciones se encuentran los índices de cada subescala (*ICV*, *IRP*, *IMT* e *IVP*), que hacen referencia a las capacidades cognitivas específicas, y la que valora la capacidad intelectual general (*CIT*). En la tabla 18, donde se muestran los resultados del análisis de estas variables, se puede observar que todas las medidas presentan diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo de músicos. Así mismo, la magnitud del tamaño del efecto de las diferencias es medio-alta para todas las capacidades. En la Figura 11 se representan las capacidades cognitivas específicas y la capacidad intelectual general del grupo de músicos y no músicos, una vez transformadas las puntuaciones directas a puntuaciones *Z*.

Tabla 18. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general

		Músicos ($n_1=50$)		No músicos ($n_2=50$)		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>g</i>
		M	SD	M	SD			
Comprensión verbal	ICV	123,34	14,20	108,42	12,27	5,62	,000	1,12
Razonamiento perceptivo	IRP	116,56	13,67	107,24	11,37	3,71	,000	,74
Memoria de trabajo	IMT	117,58	12,03	105,74	13,83	4,57	,000	,91
Velocidad de procesamiento	IVP	112,18	13,17	105,50	11,91	2,66	,009	,53
Capacidad intelectual general	CIT	123,28	13,21	108,92	10,74	4,22	,000	1,17

Nota: ICV: índice de comprensión verbal. IRP: índice de razonamiento perceptivo. IMT: índice de memoria de trabajo. IVP: índice de velocidad de procesamiento. CIT: cociente de inteligencia total. *g*: medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la *g* de Hedges.

Figura 11. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general



Nota: * Diferencias estadísticamente significativas a favor del grupo de músicos.

5.4. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS EN EL RENDIMIENTO NEUROCOGNITIVO Y LA CAPACIDAD INTELECTUAL GENERAL DE LOS MÚSICOS EN FUNCIÓN DEL SEXO

En cuanto al objetivo de determinar si existen diferencias en el rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos en función del sexo, se llevaron a cabo distintos análisis para determinar si las diferencias encontradas en el grupo de músicos también se apreciaban en sus homólogos no músicos.

Los resultados del análisis de las variables consideradas para el grupo de músicos se presentan en las Tablas 19 y 20. En la Tabla 19 se puede apreciar la existencia de diferencias estadísticamente significativas a favor de los hombres en las dos medidas recogidas para el Test del *Golpeteo*, con un tamaño del efecto especialmente alto en el caso de la mano *no dominante*. Por otro lado, en la Tabla 20 se observa significación estadística a favor de las mujeres en lo que respecta a la *Velocidad de procesamiento* de la información.

Tabla 19. Rendimiento neurocognitivo del grupo de músicos en función del sexo

			Hombres ($n_h=25$)		Mujeres ($n_m=25$)		t	p	g
			M	SD	M	SD			
Memoria y aprendizaje	AAVR	Inmediata	7,24	2,30	7,88	2,09	-1,03	,308	-,29
		Aprendizaje	58,36	7,59	61,44	6,09	-1,58	,120	-,44
		Demorado	13,24	2,17	14,24	1,33	-1,97	,055	-,55
	FCR Memoria		20,64	6,56	22,20	5,51	-,91	,367	-,25
Habilidades motoras	Purdue Total		44,88	3,72	46,44	3,28	-1,57	,120	-,44
	Golpeteo	Dominante	64,88	5,86	59,08	6,12	3,42	,001	,95
		No dominante	60,24	4,25	53,60	5,27	4,91	,000	1,37
Funciones Ejecutivas	WCST-64 Categorías		4,32	1,21	4,60	,82	-,96	,340	-,27
	BADs: Llaves		12,20	3,48	12,36	4,05	-,15	,880	-,04
	Trazo B		52,72	11,14	49,56	15,01	,85	,400	,24
	Stroop Interferencia		7,65	6,77	8,06	5,35	-,24	,810	-,07

Nota: AAVR: Test de aprendizaje audioverbal de Rey. FCR: Figura compleja de Rey. WCST-64: Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin-64. BADs: Batería para la evaluación del síndrome disejecutivo. g : medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la g de Hedges.

Tabla 20. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general del grupo de músicos en función del sexo

		Hombres ($n_h=25$)		Mujeres ($n_m=25$)		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>g</i>
		M	SD	M	SD			
Comprensión verbal	ICV	124,88	15,08	121,80	13,40	,76	,449	,21
Razonamiento perceptivo	IRP	118,00	14,77	115,12	12,60	,74	,462	,21
Memoria de trabajo	IMT	118,00	11,00	117,16	13,19	,25	,808	,07
Velocidad de procesamiento	IVP	106,44	11,68	117,92	12,22	-3,40	,001	-,95
Capacidad intelectual general	CIT	122,96	13,91	123,28	13,21	-,08	,934	-,02

Nota: ICV: índice de comprensión verbal. IRP: índice de razonamiento perceptivo. IMT: índice de memoria de trabajo. IVP: índice de velocidad de procesamiento. CIT: cociente de inteligencia total. *g*: medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la *g* de Hedges.

De forma análoga, se llevaron a cabo análisis de las mismas variables para el grupo de no músicos (Tablas 21 y 22). Los resultados expuestos en la Tabla 21, informan de la existencia de significación estadística a favor de las mujeres en las tres variables recogidas para la tarea *AAVR*, y la variable *Purdue Total*, sin embargo, las dos medidas del Test del *Golpeteo* son significativamente más altas en los hombres. Por otra parte, las capacidades analizadas en la Tabla 22, no muestran diferencias estadísticamente significativas en función del sexo para el grupo de no músicos.

Tabla 21. Rendimiento neurocognitivo del grupo de no músicos en función del sexo

			Hombres ($n_h=25$)		Mujeres ($n_m=25$)		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>g</i>
			M	SD	M	SD			
Memoria y aprendizaje	AAVR	Inmediata	6,36	1,98	7,44	1,78	-2,03	,048	-,56
		Aprendizaje	51,68	7,12	57,68	6,84	-3,04	,004	-,85
		Demorado	10,80	2,40	13,00	1,89	-3,60	,001	-1,00
	FCR Memoria		18,26	3,69	18,48	5,56	-,17	,870	-,05
Habilidades motoras	Purdue Total		39,40	3,08	42,88	4,40	-3,24	,002	,90
	Golpeteo	Dominante	58,00	6,45	52,72	5,50	3,11	,003	,87
		No dominante	52,36	5,84	46,48	6,46	3,38	,001	,94
Funciones Ejecutivas	WCST-64 Categorías		4,36	1,04	4,24	1,05	,41	,686	,11
	BADS: Llaves		11,72	2,56	11,40	2,78	,42	,674	,12
	Trazo B		59,44	14,27	56,52	17,48	,67	,521	,18
	Stroop Interferencia		2,75	8,22	3,76	9,06	-,42	,680	,11

Nota: AAVR: Test de aprendizaje audioverbal de Rey. FCR: Figura compleja de Rey. WCST-64: Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin-64. BADS: Batería para la evaluación del síndrome disejecutivo. *g*: medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la *g* de Hedges.

Tabla 22. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general del grupo de no músicos en función del sexo

		Hombres ($n_h=25$)		Mujeres ($n_m=25$)		t	p	g
		M	SD	M	SD			
Comprensión verbal	ICV	109,16	11,93	107,68	12,81	,42	,674	,12
Razonamiento perceptivo	IRP	106,60	12,24	107,88	10,65	-,40	,695	,11
Memoria de trabajo	IMT	108,96	14,40	102,52	12,71	1,68	,100	,47
Velocidad de procesamiento	IVP	102,36	10,55	108,64	12,55	-1,92	,062	,53
Capacidad intelectual general	CIT	109,00	11,23	108,92	10,74	,03	,980	,01

Nota: ICV: índice de comprensión verbal. IRP: índice de razonamiento perceptivo. IMT: índice de memoria de trabajo. IVP: índice de velocidad de procesamiento. CIT: cociente de inteligencia total. g : medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la g de Hedges.

5.5. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS EN EL RENDIMIENTO NEUROCOGNITIVO Y LA CAPACIDAD INTELECTUAL GENERAL DE LOS MÚSICOS EN FUNCIÓN DE LA CATEGORÍA INSTRUMENTAL

Con respecto a la categoría instrumental, y para dar cumplimiento al cuarto objetivo, se analizaron las diferencias entre los músicos de cuerda y los músicos de viento en las diferentes variables neurocognitivas. Como se informa en las Tablas 23 y 24, los resultados obtenidos no reflejan diferencias estadísticamente significativas entre estas dos categorías instrumentales en ninguna de las medidas consideradas.

Tabla 23. Rendimiento neurocognitivo de los músicos en función de la categoría instrumental

			Cuerda ($n_c=25$)		Viento ($n_v=25$)		t	p	g
			M	SD	M	SD			
Memoria y aprendizaje	AAVR	Inmediata	7,68	1,95	7,44	2,45	,38	,703	,11
		Aprendizaje	59,96	7,30	59,84	6,80	,06	,952	,02
		Demorado	13,64	2,18	13,84	1,49	-,38	,706	,11
	FCR Memoria		20,28	6,20	22,56	5,79	-1,34	,185	,37
Habilidades motoras	Purdue Total		44,84	3,75	46,48	3,23	-1,66	,104	,46
	Golpeteo	Dominante	61,12	7,56	62,84	5,54	-,92	,363	,26
		No dominante	57,88	6,72	55,96	4,66	1,74	,246	,33
Funciones Ejecutivas	WCST-64 Categorías		4,52	,87	4,40	1,19	,41	,686	,11
	BAD5: Llaves		12,88	3,93	11,68	3,51	1,14	,260	,32
	Trazo B		53,88	14,48	48,40	11,37	1,49	,143	,41
	Stroop Interferencia		8,23	5,41	7,48	6,70	,44	,662	,12

Nota: AAVR: Test de aprendizaje audioverbal de Rey. FCR: Figura compleja de Rey. WCST-64: Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin-64. BAD5: Batería para la evaluación del síndrome disejecutivo. g : medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la g de Hedges.

Tabla 24. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general de los músicos en función de la categoría instrumental

		Cuerda ($n_c=25$)		Viento ($n_v=25$)		t	p	g
		M	SD	M	SD			
Comprensión verbal	ICV	123,88	14,84	122,80	13,81	,27	,791	,07
Razonamiento perceptivo	IRP	119,48	15,97	113,64	10,42	1,53	,132	,43
Memoria de trabajo	IMT	118,48	12,90	116,68	11,29	,53	,602	,15
Velocidad de procesamiento	IVP	113,08	12,83	111,28	13,72	,48	,634	,13
Capacidad intelectual general	CIT	124,84	14,64	121,40	12,15	,90	,370	,25

Nota: ICV: índice de comprensión verbal. IRP: índice de razonamiento perceptivo. IMT: índice de memoria de trabajo. IVP: índice de velocidad de procesamiento. CIT: cociente de inteligencia total. g : medida estandarizada del tamaño del efecto mediante la g de Hedges.

5.6. ANÁLISIS DE LAS DIFERENCIAS EN EL RENDIMIENTO NEUROCOGNITIVO Y LA CAPACIDAD INTELLECTUAL GENERAL DE LOS MÚSICOS EN FUNCIÓN DE LA EDAD DE INICIO DEL ENTRENAMIENTO MUSICAL

Por último, en lo que respecta al quinto y último objetivo de esta investigación, se llevaron a cabo análisis para determinar la influencia de la edad de inicio del entrenamiento musical en el rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos profesionales. En las Tablas 25 y 26, que muestran los resultados de los análisis efectuados, no se observa significación estadística diferencial entre los tres grupos en ninguna de las medidas consideradas.

Tabla 25. Rendimiento neurocognitivo de los músicos en función de la edad de inicio del entrenamiento musical

			<7 años ($n_e=16$)		7-9 años ($n_i=19$)		>9 años ($n_l=15$)		F	p	η^2
			M	SD	M	SD	M	SD			
Memoria y aprendizaje	AAVR	Inmediata	7,19	2,40	7,53	1,65	8,00	2,62	,52	,596	,29
		Aprendizaje	58,44	8,37	60,63	6,52	60,53	6,12	,51	,606	,39
		Demorado	13,44	2,56	14,16	1,21	13,53	1,64	,79	,462	,06
	FCR Memoria		20,22	7,37	21,71	5,73	22,33	5,00	,50	,611	,57
Habilidades motoras	Purdue Total		44,81	3,78	46,32	3,38	45,73	3,59	,77	,468	,18
	Golpeteo	Dominante	60,13	7,68	61,53	5,90	64,53	5,83	1,85	,168	,51
		No dominante	56,06	6,19	65,47	4,66	58,40	6,74	,71	,497	,39
Funciones Ejecutivas	WCST-64 Categorías		4,56	,89	4,37	1,12	4,47	1,13	,15	,863	,13
	BADs: Llaves		12,81	3,78	11,68	4,27	12,47	3,04	,41	,664	,69
	Trazo B		57,13	15,25	49,63	12,53	46,67	9,57	2,84	,069	,52
	Stroop Interferencia		9,31	4,69	6,65	7,22	7,83	5,73	,83	,441	,92

Nota: AAVR: Test de aprendizaje audioverbal de Rey. FCR: Figura compleja de Rey. WCST-64: Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin-64. BADs: Batería para la evaluación del síndrome disejecutivo. η^2 : medida estandarizada del tamaño del efecto mediante eta cuadrado.

Tabla 26. Capacidades cognitivas específicas y capacidad intelectual general de los músicos en función de la edad de inicio del entrenamiento musical

			<7 años ($n_e=16$)		7-9 años ($n_i=19$)		>9 años ($n_l=15$)		F	p	η^2
			M	SD	M	SD	M	SD			
Comprensión verbal	ICV		119,69	14,90	125,11	15,88	125,00	11,01	,77	,468	,41
Razonamiento perceptivo	IRP		116,50	15,56	114,84	13,54	118,80	12,22	,34	,712	,45
Memoria de trabajo	IMT		115,38	13,25	117,68	14,11	119,80	7,18	,52	,601	,32
Velocidad de procesamiento	IVP		111,31	11,76	112,95	14,37	112,13	13,86	,06	,938	,23
Capacidad intelectual general	CIT		120,88	15,14	123,53	14,26	123,12	13,43	,37	,693	,41

Nota: ICV: índice de comprensión verbal. IRP: índice de razonamiento perceptivo. IMT: índice de memoria de trabajo. IVP: índice de velocidad de procesamiento. CIT: cociente de inteligencia total. η^2 : medida estandarizada del tamaño del efecto mediante eta cuadrado.



DISCUSIÓN



6. DISCUSIÓN

La revisión de la literatura nos ha permitido constatar que existen evidencias de la presencia de beneficios funcionales y estructurales en los cerebros de los músicos profesionales (Barrett et al., 2013; Benz et al., 2016; Gaser & Schlaug, 2003; Herholz & Zatorre, 2012; Schellenberg, 2016; S. J. Wilson, 2013), sin embargo, la literatura existente hasta la fecha no ha llevado a cabo un estudio exhaustivo de su rendimiento cognitivo. A este respecto, la evaluación neurocognitiva, como examen comprensivo de las funciones cognitivas que pueden verse modificadas como consecuencia de cambios funcionales y/o estructurales del Sistema Nervioso Central, constituye un procedimiento ideal no solo para identificar, describir y cuantificar cambios cognitivos derivados de lesiones y disfunciones cerebrales, sino también para realizarlo en población general desde la óptica de las relaciones cerebro-conducta, tal y como lo hacemos en este estudio para evaluar los beneficios del entrenamiento musical en músicos profesionales. Es por ello que, una de las aportaciones principales de esta investigación a la literatura, consiste en la aplicación de una batería exhaustiva de evaluación del rendimiento neurocognitivo, que incluye medidas de los principales dominios cognitivos ampliamente utilizadas por la comunidad científica internacional, y que cuentan con unos buenos indicadores psicométricos, lo cual posibilita ofrecer un perfil del rendimiento neuropsicológico de los músicos profesionales.

Dado que son múltiples los factores que influyen en el rendimiento neurocognitivo, previo paso a la aplicación de esta batería de evaluación, se ha llevado a cabo el control de algunas de las variables sociodemográficas señaladas por la literatura como más influyentes. Dentro de estas variables, tal vez sea la edad una de las que más intervienen en el rendimiento, situándose el punto más alto de desarrollo cerebral en torno a los 20 años para sufrir, a partir de ahí, un lento y gradual declive en cada década a través de un proceso complejo que produce profundos efectos sobre el cerebro y el procesamiento cognitivo (Corral et al., 2006). El resultado del balanceo secundario realizado en cuanto a la edad se refiere, ha puesto de manifiesto que no existen diferencias entre los músicos y no músicos en esta variable, por tanto, los resultados de la evaluación neurocognitiva no pueden ser debidos a un proceso de envejecimiento diferencial de los dos grupos, ya que además de que la media se sitúa en torno a los 41 años, ningún participante supera los 55 años de edad.

Por otro lado, el sexo es otra de las características individuales que la literatura ha estudiado abundantemente para explicar diferencias en el funcionamiento cognitivo, llegando a plantear patrones diferenciales de rendimiento para hombres y mujeres (Otero Dadín & Rodríguez Salgado, 2008). Para controlar su efecto hemos incluido en el estudio, tanto en el grupo de músicos como el de no músicos, el mismo porcentaje de participantes de cada sexo.

Otro de los factores que ejerce un efecto importante sobre el rendimiento cognitivo es el nivel educativo (Vaqué-Alcázar et al., 2017). El proceso educativo, constituido por un conjunto de actividades cognitivamente estimulantes que ocupan una parte crucial del desarrollo, tiene la capacidad de modificar la arquitectura funcional del cerebro, aumentando la densidad de las conexiones nerviosas y permitiendo, incluso, compensaciones activas frente a los cambios relacionados con el envejecimiento (Manly et al., 2003). Es por ello que, con el objetivo de que este factor no interfiriese en el rendimiento cognitivo de forma diferencial entre los músicos y los no músicos, hemos controlado que toda la muestra contara con un nivel educativo superior.

Así mismo, como valoración inicial previa a la aplicación de las tareas de exploración neuropsicológica, hemos tenido en cuenta también otras dos variables que la literatura ha considerado de interés por su influencia en el rendimiento cognitivo. En primer lugar, la lateralidad, que cuenta con la preferencia manual como una de las manifestaciones más evidentes de la asimetría cerebral, se refleja también en la especialización hemisférica de distintas funciones cognitivas (Cantú Cervantes et al., 2017). Aunque esta especialización de un hemisferio sobre otro parece ser sutil (Acosta, 2000), resulta relevante incluir una valoración de la lateralidad en las evaluaciones neuropsicológicas, por su influencia en el desempeño en las distintas tareas aplicadas (Portellano, 2005). Es por ello que, a pesar de que la literatura que relaciona la preferencia manual con el rendimiento cognitivo no siempre obtiene los mismos resultados (Alnassar et al., 2016; Beratis et al., 2010, 2013; D. F. Halpern et al., 1998; Hatta, 2018; Portellano, 2005), hemos considerado conveniente incluir, como medida de la lateralidad de los participantes, el Inventario de Lateralidad de Edimburgo (Oldfield, 1971), que es uno de los cuestionarios más utilizados en nuestro medio. Nuestros resultados han puesto de manifiesto que, tanto los músicos como los no músicos, se distribuyen por igual en esta variable y, por tanto, las diferencias en el rendimiento neurocognitivo apreciadas tampoco pueden ser explicadas por este factor.

En segundo lugar, también hemos considerado que exposiciones ambientales variadas y la realización de actividades cognitivamente estimulantes pueden ser beneficiosas para el rendimiento neurocognitivo y, por tanto, podrían contribuir a explicar diferencias individuales en el rendimiento. Teniendo en cuenta que se ha descrito una relación positiva entre la participación en actividades de la vida diaria como la lectura, los juegos de mesa, la asistencia a conferencias y seminarios o la práctica de ejercicio físico, entre otras, y la ejecución en un amplio rango de tareas cognitivas (Ghisletta et al., 2006; Labra Pérez & Menor, 2014; Mitchell et al., 2012; B. J. Small et al., 2012; R. S. Wilson et al., 2003) y que la participación en actividades de ocio cognitivamente estimulantes promueve el uso efectivo de los circuitos cerebrales e incluso puede influir en la arquitectura cerebral incrementando la densidad neuronal, la formación de sinapsis y la mielinización (Arenaza-Urquijo & Bartrés-Faz, 2014; Robertson, 2014; Saczynski et al., 2008; Stern, 2009), nos planteamos la importancia de

incorporar una medida de la participación en este tipo de actividades por si pudiera contribuir a la explicación de los resultados obtenidos. Por este motivo hemos aplicado una adaptación del Cuestionario de Scarneas et al. (2003) para valorar la participación en AVDAyCE de la muestra. Los resultados obtenidos favorecen al grupo de no músicos en esta puntuación, es decir, sus puntuaciones reflejan una mayor participación en este tipo de actividades, sin embargo, su rendimiento neurocognitivo es menor que el de los músicos. Es de interés destacar que a pesar de realizar más actividades cognitivamente estimulantes, que presumiblemente estarían relacionadas con un mejor desempeño cognitivo, su rendimiento es inferior al de los músicos. Esto podría ser debido, por un lado, a que la diferencia en la participación en este tipo de actividades entre los grupos no es elevada (Cohen, 1988), y por ello no logra producir un efecto diferencial sobre el rendimiento o, por otro lado, que el efecto del entrenamiento musical sea de una magnitud tal, que llegue a enmascarar el posible beneficio provocado por la participación en AVDAyCE.

En definitiva, como se ha puesto de manifiesto que el rendimiento neuropsicológico puede diferir en función de cada una de estas variables, es importante tener en cuenta su influencia para interpretar adecuadamente los resultados obtenidos en una valoración neurocognitiva. A este respecto, nuestros resultados han puesto de manifiesto que el grupo de músicos y el de no músicos no se diferencian en ninguna de las variables estudiadas, a excepción del grado de participación en AVDAyCE pero, como hemos indicado, esta participación diferencial a favor del grupo de no músicos, no permite dar respuesta al distinto rendimiento neurocognitivo observado entre los grupos. Por tanto, los resultados obtenidos no se explicarían por razones de edad, sexo, nivel educativo, lateralidad, AVDAyCE o incluso nacionalidad, al tener todos los participantes las mismas características o bien estar contrabalanceadas algunas de ellas.

Finalmente, merece mención destacar que hemos hecho un esfuerzo importante en lo que respecta a la selección de la muestra, con el objetivo de superar algunas limitaciones de los estudios previos. En primer lugar, hemos incrementado el tamaño muestral con respecto a la mayoría de investigaciones, incluyendo un total de cien participantes, de los cuales, cincuenta son músicos profesionales. En segundo lugar, hemos utilizado una definición de músico profesional en la que no se incluye ni a estudiantes ni a profesionales menores de 30 años, ya que suelen contar con escasa experiencia musical y además, en el caso de los estudiantes, su sistema neural podría encontrarse aún en proceso de maduración. Así mismo, hemos incluido en el grupo de no músicos a participantes sin ningún conocimiento musical a mayores del que pudieron haber recibido como parte de la educación general obligatoria. Por último, hemos optado por evaluar a profesionales con once especialidades instrumentales diferentes, tanto de cuerda como de viento, lo cual nos permite, además de profundizar en la influencia de la categoría instrumental sobre el rendimiento neurocognitivo, extrapolar, en mayor medida, los resultados de la investigación a muchos perfiles de músicos. En definitiva, el diseño empleado,

las características de los participantes y el control de variables confusoras entendemos que contribuyen a dar consistencia a los resultados obtenidos.

En lo que respecta al **rendimiento neurocognitivo de los músicos en distintas funciones cognitivas**, nuestros resultados han puesto de manifiesto que los músicos presentan un mejor rendimiento, en conjunto, en todas las funciones cognitivas evaluadas. De hecho, de las cuarenta medidas recogidas únicamente ocho no han mostrado diferencias entre los grupos, concentrándose esta falta de diferencias fundamentalmente en algunos componentes de las funciones ejecutivas. Además, cabe destacar que más del 50% de las tareas aplicadas obtienen un tamaño del efecto de las diferencias alto (Cohen, 1988), lo que nos indica que la probabilidad de que un participante no músico rinda por debajo de un músico es muy elevada, situándose por encima del 80% en la mayor parte de las variables cognitivas evaluadas (Castillo, 2009).

En cuanto a las funciones de **atención y memoria de trabajo**, los resultados presentados han informado de un mejor rendimiento cognitivo de los músicos tanto en atención focalizada y sostenida como en memoria de trabajo verbal y visoespacial. En primer lugar, hemos podido observar que las tareas que requieren atención, concentración y memoria a corto plazo tanto verbal (Dígitos directo) como visoespacial (Corsi directo), son las que ofrecen diferencias con un mayor tamaño del efecto, contribuyendo a incrementar esa ventaja con respecto a los no músicos en las medidas globales de estas dos pruebas. En segundo lugar, los músicos rinden también mejor cuando se enfrentan a tareas que, además de requerir un control atencional, solicitan la participación de la memoria de trabajo verbal de una forma más activa. De este modo, los músicos son capaces tanto de resolver correctamente un mayor número de problemas aritméticos como de invertir el orden de secuencias más largas de números comparados con los no músicos, manifestando así una mayor capacidad para atender, procesar, retener y trabajar con estímulos verbales mientras operan mentalmente con ellos. Sin embargo, las diferencias en la tarea de ordenar números en orden creciente, medida asociada también a la memoria de trabajo verbal, se minimizan entre los grupos. Esto puede ser debido a la mayor implicación ejecutiva que esta prueba tiene en comparación con el resto de tareas utilizadas para valorar la atención y la memoria de trabajo de los participantes. De hecho, nuestros resultados muestran que el rendimiento ventajoso de los músicos, en lo que a las funciones ejecutivas se refiere, no es tan homogéneo como en el resto de áreas cognitivas evaluadas. Por último, estos profesionales también presentan una mejor capacidad para atender, almacenar y manipular temporalmente información de carácter visoespacial (Corsi inverso). A este respecto, los resultados indican que un porcentaje superior al 73% de los no músicos se situarían por debajo de la media de los músicos en esta medida (Castillo, 2009), lo que, sumado a su mayor rendimiento en tareas que, además de atencionales, cuentan con componentes visomotores

(Trazo A), parece coherente con los requerimientos y características propias del lenguaje y el entrenamiento musical.

Nuestros resultados, por tanto, nos permiten confirmar la primera de las hipótesis planteadas, al poner de manifiesto que los músicos tienen un mejor rendimiento neurocognitivo que los no músicos en atención y memoria de trabajo verbal y visoespacial.

Las funciones atencionales y de memoria de trabajo son procesos complejos que están implicados en numerosas actividades de la vida diaria y, aunque, como hemos visto, existen tareas que requieren una alta carga de estos sistemas, lo cierto es que coordinan múltiples procesos cognitivos que se ejecutan paralelamente. De este modo no es de extrañar que sus correlatos neurales ocupen una amplia representación encefálica, sin bien la corteza prefrontal dorsolateral parece ser una estructura clave para el mantenimiento de estas funciones cognitivas (Anderson et al., 2018; Barbey et al., 2013; Bogdanov & Schwabe, 2016; Kumar et al., 2017; Woodcock et al., 2019). Por un lado, la corteza prefrontal dorsolateral izquierda se ha relacionado con la atención y memoria de trabajo verbal (Müller & Knight, 2006; Schaal et al., 2017), mientras que la derecha tendría una mayor implicación en tareas que requieren de atención y procesamiento activo temporal de información visoespacial (Baddeley, 2003; Wang & Ku, 2018). En base a los resultados obtenidos en los estudios de Bermudez et al. (2009) y Sluming et al. (2002), que han evidenciado un mayor grosor cortical en los músicos profesionales en esta región cerebral, y los obtenidos en este trabajo, nos planteamos que los músicos podrían presentar diferencias neuroestructurales en la corteza prefrontal dorsolateral con respecto a los no músicos.

En lo que respecta a los estudios funcionales, nuestros resultados están en la línea de los obtenidos en la literatura que describe beneficios a favor de los músicos en cuanto a atención y memoria de trabajo verbal (Alain et al., 2018; Clayton et al., 2016; Franklin et al., 2008; George & Coch, 2011; Pallesen et al., 2010; Parbery-Clark et al., 2009; Porflitt Becerra & Rosas-Díaz, 2019; Ramachandra et al., 2012; Schellenberg, 2006; Suárez et al., 2016; Talamini et al., 2016; Zuk et al., 2014). Sin embargo, a pesar de que la mayoría de los trabajos aprecian estas diferencias, los estudios de Y. Lee et al. (2007) y Nonnemacher (2014), no informan de una ventaja clara de los músicos en este aspecto, lo que podría ser debido al reducido tamaño muestral y/o a la escasa experiencia profesional de los músicos evaluados en estos trabajos, que son estudiantes con una edad media que ronda los veinte años. En cuanto a las investigaciones sobre atención y memoria de trabajo visoespacial, solo los trabajos de Oechslin et al. (2013) y Rodrigues et al. (2013) han evidenciado un beneficio a favor de los músicos profesionales en memoria de trabajo visoespacial y en algunos componentes atencionales, respectivamente. Del mismo modo, los pocos estudios llevados a cabo en niños y adultos mayores (Bergman Nutley et al., 2014; James et al., 2020; Y. Lee et al., 2007; Ocampo Osorio et al., 2018) también informan de un mejor desempeño en atención y memoria de trabajo visoespacial a favor de los

grupos musicalmente entrenados. Es por ello que, teniendo en cuenta que los músicos también muestran beneficios en las habilidades visoespaciales (Brochard et al., 2004), y que hay poca literatura al respecto, consideramos de interés el seguir profundizando en la comprensión del funcionamiento de la memoria de trabajo visoespacial en músicos profesionales adultos.

Con relación a la **velocidad de procesamiento de la información**, también podemos confirmar la hipótesis planteada, ya que los músicos presentan un mejor rendimiento que los no músicos. En primer lugar, la medida que hemos utilizado para valorar la velocidad de procesamiento (IVP), que la WAIS-IV extrae a partir de las puntuaciones de las dos tareas utilizadas para evaluar esta función (Búsqueda de símbolos y Clave de números), ofrece una ventaja significativa a favor de los músicos y, en segundo lugar, los resultados de otras pruebas comúnmente utilizadas para evaluar la velocidad de procesamiento, como el Test del trazo y el Test Stroop, incluidas en nuestra batería de exploración neurocognitiva, también reflejan un mejor desempeño de los músicos en este dominio cognitivo. Además, el mejor rendimiento de los músicos en el Test Stroop, posibilita la extensión de esta ventaja a la modalidad de salida verbal, restringiendo la influencia de la velocidad motora manual, que podría beneficiar a los músicos en las tareas de salida escrita y, por tanto, ofrece una mayor solidez a los beneficios observados en esta función cognitiva. Con respecto a las dos tareas aplicadas por la WAIS-IV para obtener el IVP, solamente la puntuación del test de Búsqueda de símbolos, a pesar de ser más elevada en los músicos, no presenta un resultado significativamente mejor que el de los no músicos, lo que podría ser debido a la implicación simultánea y diferencial de distintos procesos cognitivos. Por una parte, los requerimientos atencionales y de memoria de trabajo visual, funciones en las que, como hemos visto, los músicos presentan un mejor rendimiento, son más bajos en esta tarea, ya que el estímulo cambia con mayor frecuencia que en la prueba de Clave de números. Esto posibilitaría una mejora de la capacidad de atención y concentración de los no músicos en esta prueba y, consecuentemente, provocaría un aumento de la velocidad de procesamiento, incrementando su puntuación en este test. Por otra parte, la implicación de las habilidades visomotoras, en las que los músicos también presentan un mejor desempeño, es más elevada en la tarea de Claves, lo que contribuiría tanto a aumentar el tamaño de la diferencia a favor de los músicos en esta prueba, como a generar la ventaja observada en el IVP.

La velocidad de procesamiento de la información es uno de los factores más importantes que subyacen al desarrollo cognitivo, influyendo en la fluidez con la que nuestro cerebro realiza operaciones mentales. Según informan nuestros resultados, por tanto, el cerebro de los músicos necesitaría menos tiempo que el de los no músicos para procesar determinados estímulos visuales y ejecutar la respuesta más apropiada en cada caso, mostrando una mayor rapidez asociativa. De hecho, esta ventaja cognitiva se ha puesto en relación con la lectura musical a primera vista (Kopiez et al., 2006; Kopiez & In Lee, 2008), una de las características inherentes

al entrenamiento musical que consiste en la interpretación de partituras musicales sin previo ensayo. A través de esta actividad, los músicos se ven obligados a realizar un esfuerzo continuo por maximizar su atención, coordinación y velocidad visomotora para poder interpretar, por primera vez, una partitura musical sin errores y de forma coherente. El entrenamiento en estos aspectos al que se ven sometidos los músicos para poder hacer un buen desempeño profesional, podría explicar esta ventaja cognitiva.

En la línea de nuestros hallazgos, los resultados de las investigaciones llevadas a cabo por Bugos & Mostafa (2011), Helmbold et al. (2005), Moreno & Schellenberg (2009), Patston (2007), Patston et al. (2007) y Porflitt Becerra & Rosas-Díaz (2019), también informan de un mejor rendimiento a favor de los músicos en esta función cognitiva. Además, otros estudios han evidenciado incrementos en la velocidad de procesamiento de la información en participantes que, sin ser músicos profesionales, se ven sometidos a programas de instrucción musical. De este modo, se han observado beneficios en esta capacidad cognitiva tanto en adultos mayores (Bugos, 2010; Bugos et al., 2007; Fauvel et al., 2014; Hanna-Pladdy & MacKay, 2011; Mansens et al., 2018), como en adolescentes y niños (Bergman Nutley et al., 2014; Gruhn et al., 2003; James et al., 2020; Roden et al., 2014; Schellenberg, 2004, 2006). Por otro lado, el estudio de Zuk et al. (2014), a pesar de observar un aumento en la velocidad de procesamiento de niños musicalmente entrenados, en adultos solo evidenciaron una tendencia no significativa de los datos a favor de los músicos. Este equipo de investigación atribuyó la discrepancia a un posible estancamiento del desarrollo de esta función cognitiva en la edad adulta. Sin embargo, este trabajo utilizó solo una medida para la evaluación de este dominio y, además, el muestreo realizado contaba solamente con 15 músicos, algunos de ellos estudiantes sin titulación superior, con una media de edad que no superaba los 25 años y una experiencia profesional limitada, lo que podría dar lugar a unos resultados no comparables con los obtenidos en este trabajo.

En cuanto al correlato neural, la velocidad de procesamiento de la información se ha asociado a la integridad y el grado de mielinización de los tractos de materia blanca (Chopra et al., 2018; Kerchner et al., 2012; Roosendaal et al., 2009; Wilde et al., 2006). La mielina es una estructura lipoproteica formada por el citoplasma de las células gliales, que se dispone de forma multilaminar alrededor de los axones neuronales. Su función consiste en aislar la membrana axónica para incrementar su resistencia electroquímica, posibilitando así una conducción saltatoria de los potenciales de acción. Este mecanismo de conducción permite aumentar la velocidad de transmisión de los impulsos nerviosos, de hecho, una neurona con los axones recubiertos de mielina es capaz de transmitir estos impulsos unas cien veces más rápido que una neurona amielínica (Bear et al., 2002). En esta línea, los estudios de neuroimagen han evidenciado cambios en la sustancia blanca de los músicos que afectan a estructuras como el cuerpo calloso (D. J. Lee et al., 2003; Öztürk et al., 2002; Schlaug, Jäncke, et al., 1995;

Schmithorst & Wilke, 2002; Steele et al., 2013; Vollmann et al., 2014), implicado en la comunicación interhemisférica; el tracto corticoespinal (Bengtsson et al., 2005; Han et al., 2009; Imfeld et al., 2009; Rüber et al., 2015; Schmithorst & Wilke, 2002), constituido por los axones que viajan desde la corteza motora hasta las motoneuronas alfa de la médula espinal; y los fascículos arqueados (Halwani et al., 2011) y longitudinales (Loui et al., 2019; Schmithorst & Wilke, 2002), que permiten la interconexión de estructuras frontales, occipitales, parietales y temporales. Estos hallazgos, contribuyen a dar soporte neuroestructural a los beneficios funcionales observados en esta capacidad cognitiva por distintos autores. Es por ello que, en base a nuestros resultados y las evidencias neurales descritas, planteamos que los músicos podrían contar con un mayor grosor axonal, debido a un incremento de los niveles de mielinización encefálicos.

Por otro lado, los resultados obtenidos en lo que respecta a las funciones de **memoria y aprendizaje**, informan también de que los músicos presentan una mejor memoria declarativa episódica verbal y visual que los no músicos, además de una mayor capacidad de aprendizaje. Comenzando con la valoración de la memoria y el aprendizaje verbal, en cuanto al recuerdo inmediato, las puntuaciones de las pruebas aplicadas (Dígitos directo y AAVR Inmediata) resultan más altas en los músicos que en los no músicos, sin embargo, la diferencia presentada en el primer ensayo de evocación de las quince palabras de Rey, no llega a alcanzar la significación que sí obtiene la tarea de Dígitos. Esto puede ser debido a la distinta naturaleza del material verbal presentado, ya que la utilización de palabras facilita una asociación semántica, lo que podría optimizar las estrategias de codificación de los participantes no músicos, mejorando su capacidad de almacenamiento y recuperación en condiciones de sobrecarga. Además, al igual que en el caso de la tarea de Búsqueda de símbolos, también podría estar sucediendo que el contenido verbal no estructurado y variado, facilitase el incremento de la atención de los no músicos, reduciendo así las diferencias entre los grupos. En todo caso, tanto los procesos atencionales como el uso de estrategias organizativas previas al almacenamiento de la información, tendrían una mayor influencia en la primera evocación de la lista de palabras, ayudando a minorar la distancia entre las puntuaciones de los grupos en este primer ensayo. De hecho, los resultados del análisis de la capacidad de aprendizaje y la memoria episódica verbal a largo plazo (AAVR Aprendizaje y Demorado), muestran un rendimiento más elevado en el grupo de músicos. En cuanto al aprendizaje verbal, a través de los cinco ensayos realizados, hemos observado que los músicos son capaces de adquirir y aprender alrededor de un 15% más de palabras que los no músicos. Así mismo, en el recuerdo demorado (treinta minutos) de las quince palabras, los músicos son capaces de evocar, de media, casi el total de palabras (catorce), mientras que los no músicos consiguen recordar doce. El tamaño de esta diferencia situaría en un 80%, aproximadamente, el porcentaje de no músicos

que rinde por debajo de los músicos en esta tarea (Castillo, 2009). Por último, con respecto a la memoria visual inmediata (Corsi directo), como hemos visto, los músicos profesionales también presentan un mejor desempeño que los no músicos, al igual que en memoria visual a largo plazo (FCR Memoria), donde, utilizando el mismo tiempo que los no músicos, los músicos son capaces de recuperar una imagen y elaborar su representación gráfica de una forma más precisa. Por lo tanto, en base a estos resultados, podemos confirmar nuestra tercera hipótesis, al evidenciar que los músicos presentan un mejor rendimiento en las funciones cognitivas de aprendizaje y memoria que los no músicos.

El aprendizaje y la memoria son dos procesos cognitivos básicos, íntimamente relacionados, que forman parte de una serie dinámica a través de la cual manejamos y elaboramos la información proporcionada por nuestros sentidos. Estos procesos se ven influenciados por una serie de factores que optimizan la capacidad de almacenamiento y posterior recuperación de la información. Por un lado, los conocidos efectos de primacía, recencia o de aislamiento, nos permiten recordar con mayor facilidad elementos que se presentan en primer lugar, en último o aquellos que se diferencian claramente del resto. Además, el grado de motivación o la posible asociación emocional que establezcamos con la información mostrada, también influirán en nuestra capacidad de recuerdo. Por otro lado, las estrategias organizativas que utilicemos para codificar el material a almacenar, constituyen un mecanismo de gran importancia para la consolidación de dicho material en nuestra memoria. De este modo, la creación de imágenes mentales, la organización por categorías o la recodificación semántica de la información presentada, permiten un almacenamiento y posterior evocación mucho más eficiente. Por último, el efecto de la ejercitación repetida, constituye un aspecto fundamental para mejorar la capacidad de memorización y aprendizaje. En este sentido, es probable que el mejor desempeño de los músicos en estas funciones cognitivas, sea debido, en gran parte, a la práctica constante de ejercicios y obras musicales de memoria. El objetivo de esta característica del entrenamiento musical va mucho más allá de la mera reducción de errores en la actuación, sino que permite una mejor interconexión con otras áreas cognitivas de importancia para llevar a cabo una interpretación de calidad. Por un lado, la abstracción del material físico visual, posibilita un mejor acceso a la memoria asociativa, facilitando la incorporación de conceptos y pautas estilísticas básicas, necesarias para realizar una representación musical coherente, mientras que, por otro lado, también favorece la integración de áreas asociadas al procesamiento emocional, hecho que permitirá disfrutar tanto a intérpretes como a oyentes de una verdadera experiencia artística.

En lo que respecta a su correlato neural, en general, podemos considerar el aprendizaje y la memoria como procesos jerárquicos en los cuales la información debe ser, en primer lugar, registrada en un área sensorial cortical y, posteriormente, procesarse a través del sistema límbico para que, finalmente, el material se establezca en la corteza de asociación específica

para cada modalidad sensorial. La evidencia científica apunta a que el hipocampo ejerce un rol fundamental en el proceso de consolidación de la memoria episódica (P. Alvarez & Squire, 1994; Crestani et al., 2019; Elgersma & Silva, 1999; Morris et al., 1990; Squire, 1997; Tulving & Markowitsch, 1998; Zhan et al., 2018). En este sentido, los estudios neuroanatómicos llevados a cabo en músicos profesionales, han evidenciado incrementos del volumen hipocampal (Groussard et al., 2014; Groussard, La Joie, et al., 2010; Sluming et al., 2005; Vaquero et al., 2016), hecho que podría estar sustentando las ventajas mnésicas de estos participantes.

Por otro lado, la literatura también ha informado de un mejor rendimiento neurocognitivo en aprendizaje y memoria declarativa episódica de los músicos profesionales, aunque este mejor desempeño no se ha observado consistentemente en todas las tareas. De esta manera, nuestros resultados, en lo que a memoria verbal se refiere, concuerdan con los obtenidos por otros trabajos que evidencian un mejor rendimiento de los músicos en memoria verbal tanto a corto (Anaya et al., 2016; Chan et al., 1998; George & Coch, 2011; Hansen et al., 2013; Ramachandra et al., 2012; Suárez et al., 2016; Talamini et al., 2016; Tierney et al., 2008; A. H. Weiss et al., 2014) como a largo plazo (Brandler & Rammsayer, 2003; M. A. Cohen et al., 2011; Franklin et al., 2008; Huang et al., 2010; Jakobson et al., 2008; Taylor & Dewhurst, 2017). Así mismo, los estudios realizados en niños y adultos mayores musicalmente entrenados, también muestran beneficios en memoria verbal inmediata (M. Chen et al., 2013; Degé, Wehrum, et al., 2011; Gooding et al., 2014; Gray & Gow, 2019; Hanna-Pladdy & Gajewski, 2012; Holochwost et al., 2017; Y. Lee et al., 2007; Mansens et al., 2018; Roden et al., 2012) y demorada (M. Chen et al., 2013; Ho et al., 2003; Roden et al., 2012). Sin embargo, otras investigaciones no encuentran diferencias entre músicos y no músicos en memoria verbal a corto plazo (Boebinger et al., 2015; Okhrei et al., 2017) ni a largo plazo (Helmbold et al., 2005), lo que podría ser debido a que estos trabajos incluyen exclusivamente a jóvenes estudiantes en sus muestras, con la probable falta de experiencia profesional asociada. Además, el estudio de Boebinger et al. (2015) permite la inclusión, en el grupo de no músicos, de participantes con hasta tres años de entrenamiento musical y, visto que incluso períodos cortos de entrenamiento pueden generar beneficios en las funciones mnésicas (Moreno et al., 2011), esto podría estar provocando un sesgo en sus resultados.

En referencia a la memoria visual, nuestros resultados también están en la línea de los resultados obtenidos por otros equipos de investigación, los cuales han evidenciado beneficios de los músicos en memoria visual tanto a corto (George & Coch, 2011; Suárez et al., 2016; Yang et al., 2016) como a largo plazo (Jakobson et al., 2008), así mismo, algunos estudios llevados a cabo en niños y adultos mayores, también han mostrado un mejor desempeño de los músicos en tareas de memoria visual inmediata (Amer et al., 2013; Bilhartz et al., 2000; M. Chen et al., 2013; Degé, Wehrum, et al., 2011) y demorada (Abrahan et al., 2019; M. Chen et

al., 2013; Hanna-Pladdy & MacKay, 2011; Zafranas, 2004). Por otro lado, otros trabajos no encuentran diferencias en memoria visual a corto plazo (Bialystok & DePape, 2009; Hansen et al., 2013; Okhrei et al., 2017; Rodrigues et al., 2014; Tierney et al., 2008) ni a largo plazo (Brandler & Rammsayer, 2003; Chan et al., 1998; M. A. Cohen et al., 2011; Helmbold et al., 2005), poniendo de manifiesto que, en lo que respecta a la memoria de los músicos, la modalidad verbal cuenta con un mayor interés y consecuente respaldo de la literatura que la modalidad visual. Este mejor desempeño en memoria verbal, podría estar relacionado con el hecho de que los músicos procesan mejor los estímulos auditivos que los no músicos (Rammsayer & Altenmüller, 2006; Spiegel & Watson, 1984; Tervaniemi et al., 2005), habilidad que podría ser útil en las tareas de memoria, cuando se presenta información de forma oral, ya que una mejor codificación auditiva del elemento a recordar fortalecería el rastro del estímulo en la memoria del oyente. Así mismo, teniendo en cuenta que los músicos también presentan una capacidad de procesamiento visoespacial elevada (Gaser & Schlaug, 2003; Rodrigues et al., 2013; Stoesz et al., 2010), y que durante la práctica musical, junto con los requisitos de memorización auditiva, los músicos se enfrentan a la necesidad de memorización visual de extractos musicales con diferentes niveles de complejidad, planteamos el interés de continuar profundizando en el rendimiento neuropsicológico de estos profesionales en memoria visual, con el objetivo de conocer si el alto grado de consistencia observado a favor de estos participantes en la modalidad verbal, se reproduce de igual manera en las tareas visuales mnésicas. En cualquier caso, nuestros hallazgos están en la línea de estudios previos y serían consistentes con los obtenidos en estudios de neuroimagen en los que se describe un mayor volumen del hipocampo.

Continuando con el análisis de los resultados del rendimiento neurocognitivo de los músicos profesionales en las pruebas de **comprensión verbal**, hemos podido observar que los músicos superan a los no músicos en todas las tareas aplicadas, así mismo, la medida de la capacidad de comprensión verbal (ICV), que la WAIS-IV ofrece a partir de las puntuaciones obtenidas por los participantes en estas tres pruebas utilizadas para valorar esta función, también refleja un mejor desempeño de los músicos. Por tanto, nos encontramos en disposición de confirmar nuestra cuarta hipótesis, la cual sostiene que los músicos profesionales obtienen un mejor rendimiento que los no músicos en esta función cognitiva.

La valoración en detalle de las tareas aplicadas, nos permite informar, por un lado, que los músicos son capaces de definir, pormenorizadamente, palabras de un grado de dificultad superior, demostrando un nivel de conocimiento del léxico más elevado y una mayor precisión a la hora de elaborar conceptos, poniendo de manifiesto, a su vez, una mejor capacidad expresiva verbal que los no músicos. Por otro lado, el mejor rendimiento de los músicos cuando se les solicita información sobre acontecimientos y principios generales o situaciones sociales

relevantes, refleja una mayor curiosidad intelectual y una mayor capacidad de atención e interés en el medio, posibilitando un incremento del bagaje educativo y cultural de estos profesionales con respecto a los no músicos. Por último, la prueba diseñada para que los participantes expresen verbalmente las analogías existentes entre dos conceptos, es, de todas las tareas que hemos aplicado en la batería de evaluación neurocognitiva, en la que hemos apreciado una mayor diferencia entre los grupos. De esta manera, el valor que alcanza el tamaño del efecto, situaría a los músicos en un percentil 92 con respecto a los no músicos (Castillo, 2009). Por lo tanto, los músicos obtendrían una ventaja realmente importante a la hora de establecer distinciones entre características esenciales y no esenciales de conceptos verbales, mostrando un mejor pensamiento asociativo y una mayor capacidad de razonamiento abstracto y lógico que los no músicos.

Por otro lado, la adquisición de un mejor desempeño por parte de los músicos en estas tareas, también está vinculado a su elevado rendimiento en otras funciones cognitivas como la atención focalizada o el aprendizaje y la memoria verbal a largo plazo. De hecho, todo este conjunto de habilidades cognitivas relacionadas con las funciones verbales, se ve incrementado en los músicos gracias a la influencia que la práctica musical ejerce sobre el procesamiento lingüístico (Besson et al., 2018; Patel & Iversen, 2007). Esto es debido a que los recursos neuronales implicados en estas dos capacidades se superponen de manera sustancial, de modo que tanto la música como el lenguaje activan una red frontotemporal en la que se incluyen regiones como el área de Broca, el giro de Heschl o el plano temporal (Maess et al., 2001; Patel, 2014; Peretz et al., 2015; Sammler et al., 2011). A este respecto, los estudios neuroestructurales llevados a cabo en músicos profesionales, han puesto de manifiesto la presencia de una mayor densidad de sustancia gris en estas regiones cerebrales. En concreto, se han observado incrementos en el volumen del giro frontal inferior, incluyendo el área de Broca (Abdul-Kareem et al., 2011; Bermudez et al., 2009; Gaser & Schlaug, 2003; Han et al., 2009; Sluming et al., 2002), en el giro de Heschl (Bermudez et al., 2009; Gaser & Schlaug, 2003; P. Schneider et al., 2002, 2005), giro temporal medio (Bermudez et al., 2009), o en el plano temporal (Bermudez et al., 2009; Schlaug, Jancke, et al., 1995). Planteamos que estas diferencias neuroanatómicas asociadas al entrenamiento musical podrían estar dando soporte, por tanto, a los beneficios funcionales observados en tareas que requieren el empleo de habilidades de naturaleza verbal.

Por último, señalar que la literatura existente que informa sobre del rendimiento neurocognitivo de los músicos profesionales en tareas verbales, se centra, fundamentalmente, en la valoración de pruebas relacionadas con los aspectos mnésicos de estos participantes, bien sea a través del análisis de la memoria inmediata (Anaya et al., 2016; Chan et al., 1998; George & Coch, 2011; Hansen et al., 2013; Ramachandra et al., 2012; Suárez et al., 2016; Talamini et al., 2016; Tierney et al., 2008; A. H. Weiss et al., 2014), a largo plazo (Brandler & Rammsayer, 2003; M. A. Cohen et al., 2011; Franklin et al., 2008; Huang et al., 2010; Jakobson et al., 2008;

Taylor & Dewhurst, 2017), o a través del estudio de la memoria de trabajo verbal (Alain et al., 2018; Clayton et al., 2016; Franklin et al., 2008; George & Coch, 2011; Pallesen et al., 2010; Parbery-Clark et al., 2009; Porflitt Becerra & Rosas-Díaz, 2019; Ramachandra et al., 2012; Schellenberg, 2006; Suárez et al., 2016; Talamini et al., 2016; Zuk et al., 2014), en las cuales, como hemos señalado, se ha puesto de manifiesto su ventaja sobre los no músicos. En todo caso, nuestros resultados, en lo que a la capacidad de comprensión verbal se refiere, se encuentran en consonancia con los resultados obtenidos por los escasos trabajos de investigación existentes al respecto, que informan también de beneficios a favor de músicos profesionales (Anaya et al., 2016; Patston & Tippett, 2011; Schellenberg, 2006; Vyspinkska, 2019), niños (Forgeard et al., 2008; Jaschke et al., 2018; Moreno et al., 2011; Piro & Ortiz, 2009; Schellenberg, 2004, 2006, 2011) y adultos mayores (Bugos, 2010; Hanna-Pladdy & Gajewski, 2012; Hanna-Pladdy & MacKay, 2011; Ocampo Osorio et al., 2018) en esta función cognitiva. Por otra parte, los estudios de Brandler & Rammsayer (2003) y Helmbold et al. (2005), equipos de investigación vinculados que aplican la misma batería para valorar algunas funciones neurocognitivas de los músicos adultos, a pesar de obtener resultados contrapuestos en gran parte sus medidas, coinciden en no mostrar diferencias en la capacidad de comprensión verbal entre músicos y no músicos. Esto podría ser debido a las características particulares de sus muestras. En el caso del trabajo de Brandler & Rammsayer (2003), aunque en el grupo de músicos incluyen a participantes titulados y profesionales, ellos mismos reconocen que no se pueden extraer conclusiones definitivas de sus resultados, dado que el reducido tamaño muestral no permite una potencia adecuada de sus análisis estadísticos. El estudio de Helmbold et al. (2005), por otro lado, aunque amplía de forma considerable el número de participantes, incluye exclusivamente a estudiantes jóvenes que podrían contar con un sistema neural en proceso de maduración y/o carecer de la experiencia musical necesaria para poder beneficiarse de un mejor rendimiento en la capacidad de comprensión verbal. Por último, solo la investigación de Bailey y Penhune (2012), informa de una ventaja de los no músicos sobre los músicos en esta función cognitiva, sin embargo, estos resultados habría que considerarlos con cautela, ya que este trabajo cuenta con las mismas variables confusoras muestrales presentes en los estudios de Brandler & Rammsayer (2003) y Helmbold et al. (2005) y, además, solo utiliza una tarea para evaluar la comprensión verbal de los participantes.

Teniendo en cuenta que la literatura que investiga las habilidades de comprensión verbal de los músicos es muy reducida y, basándonos en que este colectivo cuenta con una ventaja a la hora de procesar información de tipo lingüístico, consideramos de interés el continuar investigando las aptitudes verbales de los músicos profesionales, no solo a través de la aplicación de pruebas específicas para evaluar sus capacidades mnésicas, sino mediante la utilización de tareas que requieran, en mayor medida, habilidades relacionadas con el desarrollo del lenguaje, la expresión verbal, la amplitud léxica o la formación de conceptos, entre otras.

En lo que respecta al **razonamiento perceptivo y las habilidades visoespaciales y visoconstructivas**, nuestros resultados informan de un mejor desempeño de los músicos en las cinco tareas específicas consideradas para valorar estas funciones cognitivas. Así mismo, otras pruebas integradas en nuestra batería de evaluación neurocognitiva, que cuentan con componentes de corte visoespacial (Cubos de Corsi, Test del Trazo, Búsqueda de símbolos, Clave de números y Tablero de clavijas), también reflejan beneficios a favor de estos profesionales y, por último, el valor de la puntuación compuesta correspondiente al IRP de la WAIS-IV, ofrece, de nuevo, una ventaja a su favor en lo que a la capacidad de razonamiento perceptivo se refiere. Es por ello que nos encontramos en situación de poder confirmar nuestra quinta hipótesis, puesto que el mejor rendimiento de los músicos profesionales en estas medidas, es indicativo de una capacidad para resolver problemas no verbales y para manipular y trabajar con materiales y estímulos visoespaciales más elevada que los no músicos. En concreto, comenzando con las tareas que cuentan con una mayor implicación visoespacial, el análisis del rendimiento cognitivo de los grupos en el subtest de Matrices, informa de que los músicos se desenvuelven mejor que los no músicos a la hora de completar, clasificar o buscar analogías visoespaciales, respaldado, todo ello, por un valor del tamaño del efecto de la diferencia entre los grupos realmente alto (Cohen, 1988). De este modo, los músicos ponen de manifiesto la presencia de una mejor habilidad de percepción y orientación visoespacial, así como una mayor capacidad de razonamiento abstracto y serial que los no músicos. Así mismo, el rendimiento más elevado de estos profesionales a la hora de completar puzles visuales de dificultad creciente, también refleja una habilidad mejorada tanto para analizar y sintetizar estímulos visuales abstractos, como para establecer relaciones significativas entre detalles de tipo visoespacial. Además, el mejor desempeño de los músicos en la tarea propuesta por Benton que hemos aplicado (JOLB), nos permite informar de que estos participantes cuentan, igualmente, con una mayor capacidad de percepción, conciencia y orientación visoespacial que los no músicos.

Por otra parte, los músicos profesionales también obtienen un mayor beneficio que los no músicos cuando se enfrentan a tareas visoconstructivas (WAIS-IV Cubos) y visográficas (FCR). De hecho, al igual que sucede en el test de recuerdo demorado de la Figura compleja de Rey, utilizando el mismo tiempo que los no músicos, los músicos son capaces de reproducir con más precisión la Figura, obteniendo, en este caso, un valor destacadamente alto del tamaño del efecto de la diferencia entre los grupos (Cohen, 1988), cuya interpretación estadística situaría a un 92% de los no músicos por debajo de la puntuación media de los músicos en esta tarea (Castillo, 2009). De esta forma, estos profesionales evidencian una mejor coordinación visomotora, además de una utilización de estrategias de resolución de problemas más efectivas

y una capacidad de percepción, organización y planificación visoespacial superior a la de los no músicos.

Estos resultados siguen la línea de los resultados presentados por otros equipos de investigación, que muestran beneficios cognitivos a favor de los músicos profesionales a la hora de completar tareas diseñadas para valorar la capacidad de razonamiento perceptivo y las habilidades visoespaciales y/o visoconstructivas (Anaya et al., 2017; Bailey & Penhune, 2012; Bergman Nutley et al., 2014; Brandler & Rammsayer, 2003; Brochard et al., 2004; Costa-Giomi et al., 2001; Gagnon & Nicoladis, 2020; Patston et al., 2007; Patston, 2007; Patston et al., 2006; Patston & Tippet, 2011; Pietsch & Jansen, 2012; Ruthsatz et al., 2008; Schellenberg, 2006; Sluming et al., 2002, 2007; Stoesz et al., 2010). Así mismo, se han evidenciado ventajas en estas funciones neurocognitivas a favor del entrenamiento musical en niños (Bilhartz et al., 2000; James et al., 2020; Rauscher et al., 1994, 1997; Rauscher & Zupan, 2000; Santos-Luiz et al., 2009; Schellenberg, 2004, 2006, 2011) y adultos mayores (Grassi et al., 2017; Gray & Gow, 2019; Hanna-Pladdy & Gajewski, 2012; Strong & Mast, 2019). Por otro lado, solo dos estudios no reflejan diferencias significativas de rendimiento entre participantes músicos y no músicos en estos dominios cognitivos (Giovagnoli & Raglio, 2011; Helmbold et al., 2005), pero estos resultados podrían ser atribuidos, en parte, a una experiencia musical limitada de sus participantes, ya que ambas muestras están integradas por profesores y estudiantes de música.

Este conjunto de beneficios espaciales que el entrenamiento musical posibilita, está íntimamente vinculado a la lectura de partituras musicales (Gromko, 2004; H. Y. Lee, 2012), las cuales están conformadas por un sistema de codificación complejo, fundamentado en relaciones de tipo espacial. De hecho, teniendo en cuenta que la lectura musical está directamente conectada con los movimientos sacádicos de los ojos (Kinsler & Carpenter, 1995), algunos trabajos también han informado de un procesamiento visoespacial mejorado de los músicos, con respecto a los no músicos, en base al análisis de estos movimientos oculares (Gruhn et al., 2006; Kopiez & Galley, 2002).

En cuanto al correlato neural, las funciones visoespaciales solicitan la activación de una extensa red encefálica que abarca, principalmente, regiones occipitales, parietales y temporales. Estas regiones cerebrales se encontrarían interconectadas entre sí a través de dos vías que, partiendo de la corteza visual, trasladarían el flujo de información de forma paralela hacia el lóbulo temporal (vía ventral) y hacia el lóbulo parietal (vía dorsal) (Kravitz et al., 2011; Sittiprapaporn, 2012). A este respecto, los estudios neuroestructurales llevados a cabo en músicos, darían respaldo a los beneficios funcionales informados por la literatura en referencia a estas habilidades cognitivas, puesto que han evidenciado incrementos de sustancia gris en la corteza temporo-occipital e insular (Bergman Nutley et al., 2014), incluyendo el giro fusiforme derecho (James et al., 2014) y el giro temporal inferior (Bermudez et al., 2009; Gaser & Schlaug, 2003), en la parte anterior de la corteza parietal superior (Gaser & Schlaug, 2003) y

en el surco intraparietal izquierdo (James et al., 2014). Además, se han observado modificaciones de la corteza cingulada (Bermudez et al., 2009; Han et al., 2009) y una mayor integridad del fascículo inferior longitudinal (Schmithorst & Wilke, 2002), que se han relacionado con una transmisión de información más efectiva entre las cortezas occipital y temporal. Por último, señalar que el mayor volumen que los músicos presentan en el área de Broca (Abdul-Kareem et al., 2011; Bermudez et al., 2009; Gaser & Schlaug, 2003; Han et al., 2009; Sluming et al., 2002), reforzaría las capacidades visoespaciales de estos participantes, puesto que esta región, además de ser sustrato principal del lenguaje hablado, también ejerce funciones de localización viso y audioespacial relevantes para el procesamiento musical (Sluming et al., 2002).

Prosiguiendo con el análisis de los resultados de las tareas aplicadas para valorar las **habilidades motoras** y, según habíamos planteado en la sexta hipótesis de nuestro trabajo, hemos podido observar que los músicos también presentan un mejor rendimiento en esta habilidad cognitiva. Específicamente, nuestros resultados informan de una mejor destreza de estos profesionales, frente a los no músicos, a la hora de realizar tanto movimientos gruesos de los dedos, manos y brazos, como movimientos digitales finos. Así mismo, también reflejan una mejor coordinación bimanual y una mayor capacidad visomotora (Purdue), hecho que también se manifiesta en la ejecución de otras tareas de la batería de evaluación neurocognitiva (Cubos de Corsi, FCR, WAIS-IV: Cubos, Test del Trazo, Búsqueda de símbolos y Clave de números), además, presentan mejor rendimiento que los no músicos en pruebas destinadas a medir la velocidad y el control digital (Golpeteo). En cuanto al tamaño del efecto de las diferencias entre los grupos, hemos apreciado que, si bien prácticamente todas las medidas presentan unos valores altos (Cohen, 1988), destacan especialmente aquellas que implican la utilización de la mano no dominante. Esto podría ser debido a que el aprendizaje motor necesario para alcanzar el dominio de un instrumento musical, aunque en grado diferencial según el instrumento que se interprete, requiere, en todo caso, la utilización simultánea de ambas manos. De este modo, gracias a práctica instrumental, los músicos desarrollarían un mayor control motor de las dos manos, obteniendo una ventaja sobre los no músicos, que se manifestaría, de forma más acentuada, cuando las tareas a desarrollar solicitan la ejecución de movimientos precisos con la mano no dominante.

Nuestros resultados están en la línea de los obtenidos por otras investigaciones que informan, de manera consistente, de un mejor control, agudeza y precisión digital, además de una mayor velocidad motora manual de los músicos sobre los no músicos (Baer et al., 2015; Braun Janzen, Thompson, Ammirante, et al., 2014; Franěk et al., 1991; Hosoda & Furuya, 2016; Hughes & Franz, 2007; Hund-Georgiadis & Yves Von Cramon, 1999; Jäncke et al., 1997; Kimoto et al., 2019; Kincaid, 2002; Kuo et al., 2019; Ragert et al., 2004; Sims et al., 2015). Así

mismo, el beneficio en estas habilidades motoras, también se ha observado en muestras integradas por niños (Braun Janzen, Thompson, & Ranvaud, 2014; Forgeard et al., 2008; Hyde et al., 2009; James et al., 2020; Schlaug, 2005; Zafran, 2004) y adultos mayores (Hanna-Pladdy & Gajewski, 2012; Metzler et al., 2013) musicalmente entrenados.

En lo que respecta al correlato neural de estas habilidades, cuando se examina el cerebro de los músicos durante la interpretación instrumental, se observa la activación de un conjunto de áreas encefálicas que involucran principalmente la corteza motora primaria, el área motora pre-suplementaria y suplementaria, el córtex premotor y el cerebelo y los ganglios basales (Baumann et al., 2007; Haslinger et al., 2004; Jäncke et al., 2000; Krings et al., 2000; Lang et al., 1990; Pecenkova et al., 2013; Tanaka & Kirino, 2018). Esta activación multirregional, además, parece ser menos intensa que la demandada por las personas que carecen de instrucción musical, sugiriendo la presencia de un mecanismo de habituación en los músicos profesionales, que daría lugar a un alto grado de automatización motora (Garavan et al., 2000; Hund-Georgiadis & Yves Von Cramon, 1999; Koeneke et al., 2004; Lotze et al., 2003; Meister et al., 2005; Neubauer & Fink, 2009). Así mismo, el reclutamiento de áreas como la parte posterior del giro temporal superior (J. E. Warren et al., 2005), el córtex premotor (Bailey et al., 2014; J. L. Chen et al., 2006) o el córtex parietal (Krings et al., 2000; Tanaka & Kirino, 2018), entre otras, obedecen a la necesaria integración multisensorial demandada por el entrenamiento musical. De hecho, la literatura ha evidenciado un mejor rendimiento de los músicos en tareas que requieren una respuesta motora tras la presentación de determinados estímulos auditivos (Bailey et al., 2014; Bailey & Penhune, 2012; J. L. Chen et al., 2008; Costantino et al., 2020; Karpati et al., 2016; Krause et al., 2010; Kuchenbuch et al., 2014; Landry & Champoux, 2017; Scheurich et al., 2018) y visuales (Brochard et al., 2004; Koeneke et al., 2004; Krause et al., 2010; Meister et al., 2005; Pau et al., 2013; Steele et al., 2013; Verheul & Geuze, 2004; Watanabe et al., 2007), manifestando así una mayor capacidad de estos profesionales para la integración de información audiomotora y visomotora.

Teniendo en cuenta que esta amplia activación encefálica se reproduciría constantemente a lo largo de la carrera profesional de los músicos, no es de extrañar que los estudios de neuroimagen hayan informado de la presencia de modificaciones cerebrales relacionadas con estas habilidades motoras sofisticadas. De este modo, se ha evidenciado un incremento del volumen de sustancia gris en las cortezas premotora, somatosensorial y motora primaria (Amunts et al., 1997; Bailey et al., 2014; Bangert & Schlaug, 2006; Bermudez et al., 2009; Chieffo et al., 2016; Elbert et al., 1995; Gaser & Schlaug, 2003; Gentner et al., 2010; Li et al., 2010), así como un mayor volumen del área motora suplementaria (Bermudez et al., 2009; Gaser & Schlaug, 2003; Han et al., 2009), y adaptaciones ventajosas en el cerebelo (Baer et al., 2015; Han et al., 2009; Hutchinson, 2003; James et al., 2014; Schlaug et al., 1998; Schmithorst & Wilke, 2002) y los ganglios basales (Granert et al., 2011; James et al., 2014; Schmithorst &

Wilke, 2002; Vaquero et al., 2016). Por último, el mayor tamaño del cuerpo calloso (D. J. Lee et al., 2003; Öztürk et al., 2002; Schlaug, 2005; Schlaug, Jancke, et al., 1995; Schmithorst & Wilke, 2002; Steele et al., 2013; Vollmann et al., 2014) y la microorganización modificada del tracto corticoespinal (Bengtsson et al., 2005; Han et al., 2009; Imfeld et al., 2009; Rüber et al., 2015; Schmithorst & Wilke, 2002) de los músicos profesionales, colaborarían en el desarrollo de una mejor coordinación bimanual así como de una mayor velocidad y eficiencia motora.

Para finalizar la valoración del rendimiento de los músicos profesionales en las distintas funciones neurocognitivas evaluadas, analizaremos, a continuación, su rendimiento en el funcionamiento ejecutivo. Las **funciones ejecutivas** constituyen uno de los aspectos cognitivos más fuertemente relacionado con el ejercicio musical, ya que, durante el transcurso de una actuación musical de conjunto, los músicos necesitan llevar a cabo una monitorización y regulación constante de su conducta. Por un lado, deben escuchar y prestar atención de forma continuada a múltiples flujos de información auditiva y visual provenientes tanto de su propia interpretación como de las interpretaciones que llevan a cabo el resto de instrumentistas presentes en la agrupación. A su vez, deben ajustar el tiempo, volumen y timbre, para poder resaltar melodías e incluir matices comunes con el conjunto orquestal y, al mismo tiempo, también están leyendo una partitura musical llena de notas y marcas adicionales, que deben tener en cuenta hasta que se reproduzcan. Para llevar a cabo el procesamiento cognitivo de todas estas habilidades durante una interpretación musical, es necesario contar con funciones como la flexibilidad cognitiva, por ejemplo, para cambiar entre los flujos auditivos y la capacidad de actualizar la memoria de trabajo al leer la partitura, o el control inhibitorio, para anular predisposiciones musicales internas a favor de una representación de conjunto coherente y exitosa. Teniendo en cuenta que, tanto el control inhibitorio como la flexibilidad cognitiva, junto con la memoria de trabajo, están considerados como componentes ejecutivos principales (Diamond, 2013, 2015; Miyake et al., 2000; Miyake & Friedman, 2012), hemos incluido, en nuestra batería de evaluación neuropsicológica, tareas que requieren la implicación de estos tres tipos de habilidades. Además, hemos tenido en cuenta, paralelamente, la valoración de la capacidad de resolución de problemas, el razonamiento abstracto y la planificación, consideradas funciones ejecutivas de orden superior (Diamond, 2015).

En lo que respecta a su correlato neural, el procesamiento ejecutivo está vinculado históricamente al funcionamiento de los lóbulos frontales del cerebro, en donde la corteza prefrontal actuaría como estructura clave, gracias a su interconexión con áreas corticales y subcorticales (Alvarez & Emory, 2006; Leh et al., 2010; Roberts et al., 1998; Tekin & Cummings, 2002). Estas conexiones neurales, forman una serie de circuitos fronto-subcorticales, entre los cuales, el circuito prefrontal dorsolateral, orbitofrontal lateral y cíngulo anterior, son particularmente relevantes para el control ejecutivo (MacPherson et al.,

2017; Tirapu Ustárroz et al., 2012). De este modo, el circuito prefrontal dorsolateral, se ha relacionado con funciones como la atención, la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva o la planificación, mientras que el circuito orbitofrontal lateral y el cíngulo anterior estarían asociados, en mayor medida, a la inhibición, la motivación o la resolución de problemas (Miller & Cummings, 2017). Los estudios neuroestructurales realizados en músicos, parecen, por tanto, dar soporte neural a un procesamiento ejecutivo ventajoso de estos profesionales, puesto que han evidenciado incrementos de la sustancia gris en la corteza prefrontal dorsolateral, áreas orbitofrontales y en el córtex cíngulo (Bermudez et al., 2009; Griffiths et al., 1999; Han et al., 2009; Sluming et al., 2002).

Nuestros resultados están en esta misma línea, si bien únicamente hemos apreciado un mejor rendimiento de los músicos en los componentes ejecutivos de memoria de trabajo y control inhibitorio, ya que las medidas de flexibilidad cognitiva y capacidad de planificación, no han mostrado una ventaja clara a favor de estos profesionales. En lo que respecta a la flexibilidad cognitiva, por un lado, los resultados de la tarea que hemos aplicado específicamente para su evaluación (WCST-64), no muestra diferencias entre músicos y no músicos, lo que nos llevaría a informar de la existencia de una habilidad similar de razonamiento abstracto y formación de conceptos entre los grupos, en tanto que son igualmente capaces a la hora de desarrollar, modificar y/o mantener una estrategia para resolver un problema cambiante, mediante la utilización y comprensión de un feedback externo. Sin embargo, los músicos sí que obtienen un mejor rendimiento en la parte B del Test del Trazo, tarea que solicita cierto grado de flexibilidad mental para poder alternar entre dos condiciones estímulares. Esta discrepancia en los resultados entre las dos tareas que necesitan de flexibilidad cognitiva para su resolución, podría explicarse en función de los múltiples requerimientos cognitivos de esta segunda prueba, puesto que, además de flexibilidad cognitiva, implica también control inhibitorio que frene la respuesta preponderante, y memoria de trabajo para no perder el orden secuencial. Además, esta tarea demanda una elevada velocidad de procesamiento y rapidez visomotora, aspectos, todos ellos, ventajosos en los músicos profesionales. Del mismo modo que sucede con las tareas de flexibilidad cognitiva, tampoco hemos apreciado un rendimiento diferencial entre los dos grupos a la hora de realizar una planificación eficiente de un curso de acción en una tarea análoga a una actividad de la vida real (BADS: Llaves).

Como ya se avanzó en el párrafo anterior, nuestros resultados revelan un mejor rendimiento de los músicos en tareas que requieren control inhibitorio (Stroop y Trazo B). Por tanto, estos profesionales contarían con una mejor habilidad para inhibir estímulos que desencadenan respuestas automáticas, mostrando, así mismo, una capacidad mejorada para adaptar la percepción y acomodarse a demandas nuevas, inhibiendo una respuesta habitual en favor de una inusual. Además, la ventaja obtenida en el Test de Stroop, también refleja un mejor

desempeño de los músicos en otro componente del funcionamiento ejecutivo como es la fluidez verbal. Merece mención destacar el valor medio-alto que alcanza el tamaño del efecto de las diferencias entre los grupos en estas pruebas (Cohen, 1988), especialmente cuando se trata de evaluar la velocidad para nombrar colores bajo una condición de incongruencia, lo cual es indicativo de la presencia de una menor interferencia cognitiva en los músicos con respecto a, prácticamente, el 88% de los no músicos (Castillo, 2009).

Todos los dominios evaluados en este estudio han mostrado una clara ventaja de los músicos frente a sus homólogos no músicos, excepto en el funcionamiento ejecutivo en el que hemos apreciado que la ventaja no se presenta en todos sus componentes. Este hallazgo está en consonancia con los resultados evidenciados en la literatura que tampoco describen diferencias a favor de los músicos ni en flexibilidad cognitiva ni en planificación. En primer lugar, dentro de los escasos trabajos que se centran en valorar la flexibilidad cognitiva, solo el estudio de Madanifard et al. (2018), mediante la aplicación de la Escala de Déficit en la Función Ejecutiva (BDEFS) (Barkley, 2011) y de un Inventario de Flexibilidad Cognitiva (CFI) (Dennis & Vander Wal, 2010), ha informado de un mejor rendimiento de los músicos frente a los no músicos en esta función cognitiva. A este respecto es de interés señalar, que estos autores se han basado en la aplicación de cuestionarios para obtener una medida de flexibilidad, mientras que en nuestra investigación hemos aplicado una tarea específica para valorar el rendimiento en este componente ejecutivo. En todo caso, nuestros resultados son consistentes con los obtenidos por el resto de trabajos que no informan de beneficios claros a favor de este colectivo musical con respecto a su capacidad de flexibilidad cognitiva (Giovagnoli & Raglio, 2011; Okada & Slevc, 2018; Porflitt Becerra et al., 2018; Slevc et al., 2016). Así mismo, la literatura parece que tampoco se ha ocupado de implementar medidas específicas para analizar la capacidad de planificación de los músicos profesionales, de hecho, el único trabajo que hemos apreciado al respecto (Giovagnoli & Raglio, 2011), tampoco muestra diferencias entre músicos y no músicos en la prueba Torre de Londres (Shallice, 1982), diseñada para obtener un índice cuantitativo de la planificación a partir del número de pasos empleados en la solución del problema.

La evaluación de los procesos inhibitorios ha reclamado la atención de la literatura en mayor medida, y sus resultados, en la misma línea que los nuestros, describen un mejor rendimiento de los músicos profesionales en este componente de las funciones ejecutivas (Anaya, 2013; Bialystok & DePape, 2009; Criscuolo et al., 2019; Jentzsch et al., 2014; Moradzadeh et al., 2015; Okada & Slevc, 2016; Porflitt Becerra & Rosas-Díaz, 2019; Slater et al., 2017; Travis et al., 2011). Sin embargo, también hemos apreciado algunos estudios que no informan de estas diferencias (Clayton et al., 2016; D'Souza et al., 2018; Porflitt Becerra et al., 2018; Zuk et al., 2014).

En lo que respecta a los trabajos llevados a cabo en niños y adultos mayores, hemos podido observar que la literatura también muestra un mayor interés por el estudio del control inhibitorio

que por la flexibilidad y la planificación ejecutiva. En cuanto a los resultados obtenidos, tanto las escasas investigaciones que evalúan la flexibilidad cognitiva y la planificación en niños (Degé, Wehrum, et al., 2011; Holochwest et al., 2017; James et al., 2020; Jaschke et al., 2018) y adultos mayores (Bugos et al., 2007; Hanna-Pladdy & Gajewski, 2012; Hanna-Pladdy & MacKay, 2011), como los estudios que se centran en valorar el control inhibitorio también en niños (Degé, Wehrum, et al., 2011; Herrero & Carriedo, 2018; Holochwest et al., 2017; Jaschke et al., 2018; Moreno et al., 2011) y adultos mayores (Gray & Gow, 2019; Moussard et al., 2016; Seinfeld et al., 2013; Strong & Midden, 2020; Strong & Mast, 2019; Thorne, 2015), han apreciado beneficios en el procesamiento de estos tres componentes ejecutivos a favor de los grupos instruidos musicalmente.

Por último, merece mención señalar la dificultad que entraña la evaluación del funcionamiento ejecutivo, y que está en gran parte relacionada con las diferencias en los marcos teóricos e instrumentos utilizados para su valoración, que suponen una dificultad añadida a la hora de operativizar este concepto. En este sentido, en las últimas décadas han ido emergiendo diferentes modelos y conceptualizaciones de las funciones ejecutivas, que consideran como tales, procesos y capacidades cognitivas diferentes, y que además enfatizan la estrecha relación existente entre el funcionamiento ejecutivo y otros dominios cognitivos (Junqué & Barroso, 2009). Este escenario es reflejo de la gran complejidad que entraña tanto la definición como la valoración del procesamiento ejecutivo.

Teniendo en cuenta estas dificultades, la falta de acuerdo en los estudios que indagan en el funcionamiento ejecutivo asociado al entrenamiento musical, podrían estar relacionadas, en parte, con la existencia de varios obstáculos metodológicos presentes en la mayoría de estos trabajos. En primer lugar, los estudios suelen investigar un solo proceso ejecutivo, por ejemplo, Moreno et al. (2011) solo analizaron la inhibición y Bugos et al. (2007) solo midieron la flexibilidad cognitiva. Incluso los trabajos que analizan la misma función ejecutiva, tienden a utilizar diferentes tareas para evaluar ese proceso, por ejemplo, la capacidad de inhibición puede valorarse a través de una tarea de Stroop (por ejemplo, Bialystok & DePape, 2009) o con una tarea “go / no go” (por ejemplo, Holochwest et al., 2017; Moussard et al., 2016), por lo que no se puede concluir si los resultados reflejan el constructo subyacente o alguna otra diferencia entre las tareas aplicadas. En segundo lugar, muchos estudios utilizan una sola tarea para medir una función ejecutiva (por ejemplo, Travis et al., 2011; Zuk et al., 2014), e incluso las tareas consideradas buenas medidas del constructo de interés, también involucran otros procesos cognitivos, por ejemplo, la tarea de Stroop ciertamente implica capacidad inhibitoria, pero también involucra procesos como la fluidez verbal o la velocidad de procesamiento. Por último otra limitación con respecto a los estudios realizados en músicos profesionales, estaría relacionada con la composición y el tamaño muestral, ya que en la mayor parte de los casos, se utilizan muestras que incluyen menos de veinte músicos, con una media de edad que ronda los

veinte años y que conlleva una experiencia musical restringida (por ejemplo, Clayton et al., 2016; Porflitt Becerra et al., 2018; Zuk et al., 2014).

A este respecto, nuestro trabajo ha intentado superar estas limitaciones ya que, por un lado, hemos realizado la evaluación de diferentes componentes de las funciones ejecutivas, incluyendo medidas para valorar la atención y la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva, el razonamiento abstracto, la resolución de problemas, la capacidad de planificación, la fluidez verbal y el control inhibitorio. Además, hemos aplicado, en algunos casos, varias tareas para valorar cada uno de los componentes ejecutivos analizados y, por último, hemos seleccionado una muestra más numerosa que la mayoría de estudios previos, y que incluye a músicos con una amplia trayectoria profesional. Es por ello que entendemos que los resultados obtenidos y también lo descrito en la literatura, ponen de manifiesto que la relación entre el entrenamiento musical y el procesamiento ejecutivo es compleja y necesita más investigación que permita profundizar en ella.

Una vez valorado el rendimiento de los músicos profesionales en las distintas funciones neurocognitivas, procederemos, a continuación, con la discusión de sus **capacidades cognitivas específicas y la capacidad intelectual general**. En este sentido, acorde con el mejor desempeño de los músicos en las diez pruebas principales de la WAIS-IV aplicadas y, en consonancia también con la octava hipótesis de este trabajo, nuestros resultados han evidenciado una mayor capacidad de estos profesionales en las cuatro áreas de aptitud integradas en esta escala, así como una mayor capacidad intelectual general, en comparación con los no músicos.

Dados los resultados del análisis de la capacidad intelectual general (CIT) y, siguiendo la categorización reflejada por la WAIS-IV, el descriptor correspondiente a la puntuación obtenida por los músicos en esta medida sería superior, mientras que los no músicos alcanzarían un valor promedio. Según esta escala, el cociente de inteligencia total sería el más confiable de los valores obtenidos tras la aplicación de una Escala Wechsler de Inteligencia, considerándose, además, como la medida más representativa del funcionamiento cognitivo global, que, en este caso, favorecería a los músicos. De hecho, el valor del tamaño del efecto de la diferencia entre los grupos es especialmente alto (Cohen, 1988), situando a cerca del 88% de los no músicos, en una puntuación por debajo de la media de los músicos en esta capacidad general (Castillo, 2009). Así mismo, los músicos también obtienen un rendimiento superior en la capacidad de comprensión verbal (ICV), donde el tamaño del efecto de la diferencia con la puntuación promedio presentada por los no músicos, sigue siendo realmente elevado. Estos resultados estarían poniendo de manifiesto la mejor capacidad de razonamiento verbal y de formación de conceptos de estos profesionales, además de la presencia de un mayor acervo cultural, adquirido tanto por medio de la educación formal como informal.

En cuanto a los resultados del análisis de la capacidad de razonamiento perceptivo (IRP), los músicos obtienen un rendimiento sobre el promedio, y los no músicos muestran, de nuevo, una puntuación promedio. Las diferencias apreciadas entre ambos grupos en este índice, reflejan una capacidad ventajosa de los músicos para procesar, analizar y sintetizar información de tipo visual y espacial, así como para llevar a cabo integraciones visomotoras. Además, también muestran un beneficio a favor de estos profesionales, de cara a la formación de conceptos extraídos del análisis visual y la organización y percepción del espacio.

Continuando con la evaluación de la capacidad de memoria de trabajo (IMT), nuestros resultados informan de un mejor desempeño de los músicos a la hora de retener temporalmente en la memoria una cantidad determinada de información, a la vez que se manipula u opera con ella. Así mismo, esta ventaja en la capacidad de memoria de trabajo de los músicos (sobre promedio) frente a los no músicos (promedio), también es reflejo de la presencia de un mayor control mental y una habilidad mejorada de estos profesionales para focalizar y mantener la atención.

Por último, los resultados del análisis de la velocidad de procesamiento (IVP), también evidencian un mayor rendimiento de los músicos en esta capacidad cognitiva. De nuevo, la diferencia (sobre promedio / promedio) existente entre los grupos en este índice cognitivo, pone de manifiesto una mejor capacidad de los músicos para explorar, ordenar y discriminar información visual simple de forma rápida y eficaz. Además, también refleja una mejor atención, memoria visual a corto plazo y coordinación visomotora.

Una vez analizadas las capacidades cognitivas específicas de los grupos, también nos hemos detenido a valorar su contribución al funcionamiento intelectual general. Siguiendo a Wechsler (2012) y teniendo en cuenta que no se observan diferencias significativas entre las puntuaciones medias de las distintas capacidades cognitivas, describimos un perfil aptitudinal armónico tanto en el grupo de músicos como en el de no músicos. Los resultados muestran, por tanto, que todas las capacidades cognitivas contribuyen de forma similar al funcionamiento intelectual general en los dos grupos.

El estudio de la relación entre la formación musical y la inteligencia general ha reclamado el interés de la literatura desde hace décadas, y la gran mayoría de los trabajos que analizan esta relación, han informado de la presencia de beneficios en el cociente intelectual de niños incluidos en programas de instrucción musical (ver Schellenberg & Weiss, 2013 para una revisión). Las investigaciones en músicos adultos, sin embargo, son escasas y manifiestan discrepancias entre ellas. A este respecto, nuestros resultados están en la línea de los resultados obtenidos por el reciente trabajo de Criscuolo et al. (2019) y el estudio de Schellenberg (2006), que describen ventajas a favor de una mayor capacidad intelectual general de los músicos profesionales, y del de Gray & Gow (2019) quienes también evidencian el mismo beneficio en músicos adultos mayores. Por el contrario, los estudios de Brandler & Rammsayer (2003) y

Helmbold et al. (2005), no aprecian diferencias intelectuales generales entre músicos y no músicos. Es importante señalar que, a diferencia de estos dos últimos trabajos, tanto Criscuolo et al. (2019) como Schellenberg (2006), han aplicado la Escala de Inteligencia de Wechsler para Adultos-III (WAIS-III) (Wechsler, 1997), la cual, junto con la versión actualizada que hemos aplicado en esta investigación (WAIS-IV) (Wechsler, 2012), forman parte de las escalas más utilizadas para evaluar la inteligencia en la literatura sobre el tema (L. G. Weiss et al., 2016).

Por último, teniendo en cuenta que nuestros resultados y la evidencia funcional más actual informan de una mayor capacidad intelectual general de los músicos profesionales comparados con no músicos, sugerimos que estas diferencias observadas, podrían ser un reflejo de las modificaciones neurales evidenciadas en los estudios de neuroimagen, las cuales muestran, como hemos visto, un incremento de volumen en numerosas regiones cerebrales de los músicos (ver Herholz & Zatorre, 2012 para una revisión). En todo caso, teniendo en consideración estos beneficios neuroanatómicos, así como la consistencia manifestada por la literatura a favor de un rendimiento intelectual general mejorado en niños entrenados musicalmente, planteamos el interés de seguir investigando en esta línea, con el objetivo de dilucidar si los beneficios intelectuales generales asociados a la práctica musical en edades tempranas, continúan en la edad adulta.

Una vez que hemos discutido nuestros resultados con relación al rendimiento neuropsicológico de los músicos profesionales, y con el objetivo de continuar profundizando en el mismo, el siguiente nivel de análisis que nos planteamos en esta investigación consiste en determinar si existen diferencias en el rendimiento de los músicos en función del sexo, la categoría instrumental y/o la edad a la que iniciaron el entrenamiento musical. Para ello, comenzaremos con el análisis de la influencia del **sexo** sobre el rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos profesionales. Por un lado, nuestros resultados han puesto de manifiesto que no existen diferencias en la capacidad intelectual general entre hombres y mujeres de ninguno de los grupos. Por otro, en lo que respecta al funcionamiento neurocognitivo específico, el grupo de músicos solo presenta diferencias intergénero en un 20% de las medidas consideradas, entre las que se incluyen algunas habilidades motoras y la velocidad de procesamiento de la información. Los no músicos, por su parte, muestran diferencias en un 40% de estas medidas, las cuales también incluyen, además de las habilidades motoras, el rendimiento en memoria y aprendizaje verbal.

Estos resultados son, en líneas generales, consistentes con la literatura, ya que la mayoría de las investigaciones que analizan la capacidad intelectual general en función del sexo, tampoco encuentran diferencias en inteligencia general entre hombres y mujeres (Camarata & Woodcock, 2006; Colom et al., 2002; D. F. Halpern et al., 2011; Jensen, 1998; Nyborg, 2015),

y, las diferencias sexuales que suelen observarse, se relacionan, frecuentemente, con habilidades cognitivas específicas (Nisbett et al., 2012).

El análisis detallado del desempeño neurocognitivo en función del sexo de nuestros grupos, evidencia, en primer lugar, que los hombres, tanto músicos como no músicos, rinden mejor que las mujeres en tareas que implican velocidad y control psicomotor bimanual (Golpeteo). Además, el tamaño del efecto de estas diferencias es alto en todos los casos (Cohen, 1988), destacando, especialmente, el valor asociado a la diferencia en el rendimiento de la mano no dominante observado entre los músicos, el cual, siguiendo a Castillo (2009), situaría al 92% de las mujeres con una puntuación por debajo de la media de los hombres en esta medida. Estos resultados son acordes con la mayor parte de los estudios que analizan las diferencias de género en población general, y que muestran un beneficio masculino en este tipo de tareas (Bornstein, 1986; Christianson & Leathem, 2004; Dodrill, 1979; Gordon et al., 1981; Morrison et al., 1979; Nicholson & Kimura, 1996; Peters & Durdin, 1979; Prigatano et al., 2008; Ruff & Parker, 1993; Schmidt et al., 2000). Las investigaciones con músicos son escasas y el único estudio que aplica el test del Golpeteo (Aoki et al., 2005), no encuentra diferencias de desempeño entre cinco hombres y cinco mujeres pianistas. Dado el reducido tamaño de su muestra, y que solo incluye a pianistas, no consideramos oportuno realizar ningún tipo de inferencia general al respecto.

Por otro lado, a pesar de que también son numerosas las investigaciones que describen una ventaja visoespacial de los hombres (Astur et al., 2004; Collins & Kimura, 1997; Echavarri et al., 2007; Jansen et al., 2016; Keith et al., 2008; Linn & Petersen, 1985; Voyer et al., 1995; Voyer & Jansen, 2016), en este trabajo no hemos apreciado esta ventaja en ninguno de los dos grupos. Aunque también son escasos los trabajos que se ocupan de estudiar estas diferencias en el rendimiento visoespacial en músicos (Pietsch & Jansen, 2012; Tucker, 2019), sus resultados están en la misma dirección que los obtenidos en esta investigación en la que no hallamos diferencias en el rendimiento visoespacial entre hombres y mujeres. En cualquier caso esta ausencia de diferencias respaldaría una línea más actual de la literatura, que sugiere que las diferencias de sexo en las tareas espaciales podrían estar desapareciendo (ver Uttal et al., 2013 para una revisión).

En lo que respecta a las ventajas neurocognitivas a favor del género femenino, hemos apreciado beneficios diferenciales en función del grupo al que pertenezcan. De esta manera, en el grupo de músicos, las mujeres presentan un mejor rendimiento en velocidad de procesamiento de la información (IVP), capacidad en la que llegan a alcanzar el percentil 84 con respecto a los hombres (Castillo, 2009). Sin embargo, en el grupo de no músicos no hemos apreciado esta diferencia, a pesar de que la literatura informa de un beneficio femenino en la población general en esta capacidad cognitiva (Camarata & Woodcock, 2006; Daseking et al., 2017; Irwing, 2012; Keith et al., 2008; Roivainen, 2011). En este sentido, nuestros resultados

únicamente reflejan una tendencia a favor de las mujeres que no alcanza significación estadística.

También hemos apreciado una ventaja femenina, dentro del grupo de no músicos, en memoria y aprendizaje verbal (AAVR), y en destreza motora fina y coordinación bimanual (Purdue), con una fuerza del efecto alta (Cohen, 1988), al menos en tres de las cuatro medidas recogidas. En cuanto a la memoria verbal, nuestros resultados son acordes con la mayor parte de la literatura, que informa de la ventaja del sexo femenino en las funciones verbales (Echavarri et al., 2007; D. F. Halpern & LaMay, 2000; Lynn, 1992; Ragland et al., 2000; Reilly et al., 2016; Ullman et al., 2008). Sin embargo estas diferencias no se han apreciado en el grupo de músicos, en el cual únicamente se ha observado una tendencia de los datos que beneficia a las mujeres en memoria verbal. La escasa literatura sobre el estudio de las diferencias cognitivas entre hombres y mujeres músicos, dificulta que podamos discutir estos resultados. Solo el trabajo de Miles et al. (2016), informa de una superioridad femenina en memoria declarativa verbal después de observar que las mujeres músicos mostraban mayor velocidad en una tarea de reconocimiento de melodías familiares. Sin embargo, el análisis de estos resultados nos deja ver que debemos tomarlos con cautela. En primer lugar, aunque ciertamente el procesamiento mnésico musical y lingüístico está íntimamente relacionado (ver Jäncke, 2012 para una revisión), no podemos olvidar la ventaja de la mujeres músicos en velocidad de procesamiento que muy bien podrían estar influyendo a la hora de detectar melodías familiares, y por tanto, estar generando un sesgo en los resultados. En segundo lugar, las características de los músicos son poco exigentes, al formar parte de la muestra participantes con sólo cuatro años de entrenamiento musical. En todo caso, consideramos que la explicación más plausible al hecho de que nuestros resultados informen de un rendimiento similar intergénero en tareas de memoria y aprendizaje verbal en los músicos, podría ser debida a los beneficios que el entrenamiento musical genera en las funciones mnésicas verbales (Jakobson et al., 2003) y en el procesamiento lingüístico (Besson et al., 2018; Patel & Iversen, 2007), lo cual permitiría reducir las diferencias entre hombres y mujeres músicos en esta capacidad cognitiva.

Con respecto a las diferencias apreciadas en las mujeres no músicos, que muestran una mayor destreza, precisión y coordinación bimanual que sus análogos hombres (Purdue), diferencia en la que llegan a alcanzar un percentil 82 (Castillo, 2009), están en la línea de las descritas en estudios previos (Barnsley & Rabinovitch, 1970; Falk, 1977; Peters et al., 1990; Peters & Servos, 1989; Tiffin, 1968; Tiffin & Asher, 1948). Sin embargo, en el grupo de músicos no hemos observado estas diferencias intergénero, hecho que puede estar asociado al intenso trabajo de precisión motora que requiere la práctica musical, y que incrementaría, de forma similar, el rendimiento entre hombres y mujeres músicos en esta prueba, anulando la descrita ventaja femenina.

En lo que respecta a las evidencias neuroestructurales, los estudios que analizan las diferencias sexuales en la arquitectura cerebral de los músicos también son escasos. En este sentido, solamente se ha informado de una mayor asimetría izquierda en el giro postcentral de los hombres (Luders et al., 2004), y de un mayor volumen cerebelar relativo femenino (Hutchinson, 2003). Así mismo, el estudio electrofisiológico de Koelsch et al. (2003), también ha observado una mayor lateralización del procesamiento sintáctico musical en el género masculino. Por otro lado, fuera del campo de la investigación musical, la evidencia es consistente a la hora de informar que los cerebros masculinos y femeninos presentan asimetrías específicas de género, con cerebros femeninos más simétricos en general (Amunts et al., 2000; Good et al., 2001; Kimura, 1999; Kulynych et al., 1994). Estos dimorfismos podrían interactuar con los procesos neuroplásticos provocados por el entrenamiento musical, y generar modificaciones diferenciales en la arquitectura cerebral de los músicos. Es por ello que planteamos el interés de profundizar en la investigación de los efectos específicos del sexo sobre la plasticidad estructural y el funcionamiento neurocognitivo en los músicos profesionales para contribuir a una mayor comprensión de las relaciones cerebro-conducta en esta población.

Finalmente, poniendo en relación nuestros resultados con las hipótesis formuladas al respecto, podemos dar confirmación a la undécima hipótesis, puesto que hemos observado que, tanto hombres como mujeres músicos, presentan una capacidad intelectual general y un rendimiento en atención y memoria de trabajo y funciones ejecutivas similar. Por otra parte, dado que los hombres solo rinden mejor que las mujeres en velocidad y control psicomotor, y que las mujeres solo superan en velocidad de procesamiento a los hombres, confirmaremos de forma parcial la novena y décima hipótesis.

Continuando con el análisis de la influencia de la **categoría instrumental** sobre el funcionamiento cognitivo de los músicos profesionales, nuestros resultados han puesto de manifiesto que, tanto el rendimiento neurocognitivo como la capacidad intelectual general, es el mismo independientemente de que toquen instrumentos de cuerda o de viento. Por lo tanto, rechazamos nuestra hipótesis número doce, en la que planteábamos un mejor razonamiento perceptivo por parte de los músicos de cuerda, y la número trece, en la que hipotetizamos unas habilidades motoras mejoradas en los músicos de viento. Por otra parte, damos confirmación a nuestra décimo cuarta hipótesis, en la que predijimos un rendimiento similar entre estos dos tipos de instrumentistas en el resto de tareas y capacidades cognitivas.

Hasta donde hemos podido constatar, solo los estudios de Tucker (2019) y Stoklasa et al. (2012), han estudiado el rendimiento cognitivo diferencial entre músicos de cuerda y de viento. En primer lugar, el trabajo de Tucker (2019), aunque no encuentra diferencias en orientación espacial, si que ha informado de un mejor rendimiento de los instrumentistas de cuerda en una

tarea de visualización espacial. Estos resultados podrían ser, en parte, reflejo de los mayores requerimientos espaciales de los instrumentos de cuerda, ya que, mientras que los músicos de viento presionan llaves cuya posición está fijada en el instrumento, los músicos de cuerda realizan ajustes espaciales diferentes en cada mano sin una guía física. Por un lado deben colocar con precisión milimétrica la posición de los dedos de la mano izquierda sobre las cuerdas de su instrumento, con el fin de producir las diferentes notas musicales de manera afinada y, por otro lado, con su mano derecha tienen que variar la velocidad, inclinación y presión que ejerce el arco sobre las cuerdas, con el objetivo de modificar la duración, el timbre y la intensidad del sonido. Sin embargo, para una adecuada interpretación del hallazgo de este trabajo, hay que tener presente que se ha evaluado a músicos estudiantes con solo cuatro años de experiencia, hecho que podría estar sesgando sus resultados. Por otra parte, la investigación de Stoklasa et al. (2012) no aprecia diferencias entre músicos de cuerda y viento a la hora de ejecutar una tarea de sincronización auditivo-motora con sus propios instrumentos, por el contrario, si que observa una ventaja de los intérpretes de viento en una tarea de golpeteo convencional en sincronía con un metrónomo. De nuevo, las características específicas de los instrumentos de viento podrían predecir un mejor rendimiento de estos profesionales en tareas de golpeteo, ya que su interpretación requiere movimientos bimanuales análogos a este tipo de pruebas, sin embargo, teniendo en cuenta el reducido tamaño muestral de esta investigación, estos resultados tendrían un carácter fundamentalmente exploratorio. En cualquier caso, no podemos poner en relación nuestros hallazgos con los obtenidos en estas investigaciones porque no hemos evaluado estos componentes cognitivos, ni nuestra muestra es comparable a las evaluadas en estos estudios.

En lo que respecta al procesamiento cerebral de los músicos de cuerda y de viento, los escasos estudios de neuroimagen solo nos permiten informar de la presencia de una mayor sensibilidad a la sintaxis musical (área de Broca), el timbre (corteza auditiva) y las interacciones auditivo-motoras (giro precentral) de estos profesionales, al escuchar música interpretada por su propio instrumento (Margulis et al., 2009; Pantev, Roberts, et al., 2001).

A pesar de la escasa investigación a este respecto que nos permita discutir nuestros hallazgos, entendemos que la ausencia de diferencias en el funcionamiento neurocognitivo entre los músicos de cuerda y de viento de nuestra muestra, podría ser debida a la intensa faceta grupal de su entrenamiento. En primer lugar, la interpretación conjunta somete de manera similar a todos los músicos a un complejo procesamiento auditivo que implica el análisis de diferentes timbres, tonos, intensidades, armonías y ritmos provenientes de otros instrumentos. Así mismo, para llevar a cabo una representación coherente, también deben realizar operaciones visoespaciales, visomotoras y audiomotoras de manera coordinada con sus homólogos. Por último, todos ellos llevan a cabo también procesos de cambio y control interpretativo de forma conjunta. En definitiva, al tocar simultáneamente con otros instrumentos, los músicos se ven

obligados a utilizar sus capacidades cognitivas en mayor medida para adaptarse a la interpretación de conjunto, hecho que podría estar generando un beneficio similar en su rendimiento cognitivo.

Por último, merece mención señalar que esta creciente línea de investigación, centrada el análisis de las diferencias neurocognitivas entre distintos perfiles de músicos, ha evidenciado cambios en la función y la arquitectura cerebral entre otras especialidades instrumentales. De este modo, se ha observado una mejor integración auditivo-motora, discriminación perceptiva y un mayor control inhibitorio en percusionistas (Bianco et al., 2017; Krause et al., 2010; Rauscher & Hinton, 2003; Slater et al., 2017), así como un mejor rendimiento motor de pianistas (Jäncke et al., 1997), en comparación con músicos que interpretan otros instrumentos. Además, la literatura también ha informado de modificaciones neurales en la corteza motora (Bangert & Schlaug, 2006) y auditiva (Shahin et al., 2003, 2008), así como en el tracto corticoespinal (Rüber et al., 2015), el tronco encefálico (Strait et al., 2012) y el cuerpo calloso (Vollmann et al., 2014), que varían entre pianistas y violinistas. Estos hallazgos, destacan la relevancia de la especificidad de timbre y la experiencia en los mecanismos de plasticidad dependiente del uso. Sin embargo, el entrenamiento musical de las especialidades instrumentales analizadas en estos estudios, cuenta con unas características muy diferentes al resto de instrumentos musicales. Por un lado, los percusionistas, además de tener que tocar múltiples instrumentos, su práctica musical exige enfatizar los aspectos rítmicos e interpretar partituras con una menor carga espacial que el resto de especialidades. Por otro lado, los pianistas cuentan con una mayor independencia bimanual y un procesamiento visoespacial más complejo, al tener que realizar la lectura de dos melodías independientes de forma simultánea. Además, no forman parte de las plantillas orquestales, por lo que su interpretación en conjunto con otros instrumentos es más limitada. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la música es una disciplina artística eminentemente social, y que la práctica grupal requiere una mayor implicación cognitiva, consideramos de interés el profundizar en el estudio de las diferencias en el funcionamiento neurocognitivo entre especialidades instrumentales integradas en agrupaciones musicales profesionales.

Por último, para finalizar esta discusión, analizaremos la influencia de la **edad de inicio del entrenamiento musical** en el rendimiento y las capacidades neurocognitivas de los músicos profesionales. En este sentido, nuestros resultados han puesto de manifiesto que la edad a la que los músicos inician el entrenamiento, no influye en su rendimiento neurocognitivo ni en su capacidad intelectual general. Es por ello que rechazamos nuestra última hipótesis, que presumía un funcionamiento neurocognitivo mejorado a los músicos que comienzan a menor edad su entrenamiento.

Nuestros resultados están en la misma línea de los resultados obtenidos por las escasas investigaciones que han comparado el rendimiento cognitivo de músicos con un entrenamiento precoz frente a uno tardío, y que tampoco han hallado beneficios de los primeros frente a los segundos en memoria de trabajo, comprensión verbal y habilidades visoespaciales (Bailey & Penhune, 2010, 2012, 2013; Bailey et al., 2014; Penhune et al., 2005; Steele et al., 2013; Vaquero et al., 2016; Watanabe et al., 2007b). Sin embargo, estos mismos trabajos, junto con el estudio de Baer et al. (2015), han descrito mejoras en tareas específicas de integración sensoriomotora a favor de los músicos que comienzan antes con su entrenamiento. En cualquier caso, no podemos poner en relación estos hallazgos con los obtenidos en nuestra investigación porque no hemos evaluado estas habilidades.

La literatura neuroestructural, sin embargo, parece dar soporte a los beneficios generados por un inicio temprano del entrenamiento musical en estas tareas de sincronización, puesto que han evidenciado diferencias en el volumen de regiones corticales auditivas (Pantev et al., 1998; Pantev, Roberts, et al., 2001), somatosensoriales (Elbert et al., 1995; Li et al., 2010), premotoras (Bailey et al., 2014) y motoras (Amunts et al., 1997), así como en el cerebelo (Baer et al., 2015) y otras estructuras subcorticales ligadas al procesamiento motor como el putamen (Vaquero et al., 2016), el cuerpo calloso (Schlaug et al., 1995; Steele et al., 2013), o la vía corticoespinal (Imfeld et al., 2009). Teniendo en consideración estos hallazgos, algunas investigaciones han postulado la existencia de un periodo sensible para las habilidades de integración sensoriomotora (Baer et al., 2015; Bailey & Penhune, 2010, 2012, 2013; Bailey et al., 2014; Gaser & Schlaug, 2003; Imfeld et al., 2009; Penhune et al., 2005; Schlaug et al., 1995; Steele et al., 2013; Vaquero et al., 2016; Watanabe et al., 2007b). A este respecto, los resultados obtenidos en nuestro estudio, no nos permiten apoyar la hipótesis de la existencia de un período sensible para las funciones neurocognitivas que hemos evaluado, si bien es cierto que los estudios favorables a la existencia de dicho período, no están referidos a las habilidades motoras exclusivamente, sino a su integración con las funciones visuales y auditivas, integraciones que los músicos realizan constantemente, y que nosotros no hemos evaluado. Así mismo, al igual que sucede con el análisis de la influencia del sexo o la categoría instrumental en el rendimiento neurocognitivo de los músicos profesionales, la escasa literatura al respecto tampoco nos ha permitido poner en relación gran parte de nuestros resultados, puesto que muchas de las funciones cognitivas que hemos evaluado no han sido estudiadas previamente.

Por último, señalar que otro cuerpo de investigación centrado en el estudio del rendimiento neurocognitivo de músicos que comienzan su entrenamiento a edades tempranas frente a no músicos, ha descrito beneficios a favor de los músicos en memoria de trabajo verbal (Zuk et al., 2014), sincronización auditivo-motora (J. L. Chen et al., 2008), memoria verbal inmediata y demorada (Chan et al., 1998; Jakobson et al., 2008), memoria visual a largo plazo (Chan et al., 1998) y en determinadas habilidades visoespaciales y visoconstructivas (Stoesz et al., 2010).

Aunque no se han encontrado diferencias significativas entre ambos grupos en memoria visual a corto plazo (Chan et al., 1998), ni en control inhibitorio (Zuk et al., 2014). En todo caso, a pesar de que la tendencia general de estos estudios evidencia un mejor rendimiento neurocognitivo de los músicos con un inicio del entrenamiento precoz, el diseño de los mismos no nos permite conocer la influencia diferencial en relación a profesionales que inician el entrenamiento musical de forma tardía.

Recapitulando, aunque nuestros resultados son acordes con los pocos estudios funcionales, la literatura neuroestructural ha evidenciado la presencia de beneficios neurales a favor de un inicio temprano del entrenamiento, al menos en lo que al procesamiento auditivo-motor se refiere. A este respecto, el hecho de que no hayamos observado diferencias entre los tres grupos, no solo en cuanto a las habilidades motoras o las funciones verbales, sino en ninguna de las capacidades cognitivas que hemos evaluado, podría estar relacionado con la amplia experiencia profesional de los músicos de nuestra muestra, que no es inferior, en ningún caso, a los diez años de antigüedad. En este sentido, es posible que esta dilatada experiencia profesional esté enmascarando los posibles beneficios diferenciales generados por un comienzo precoz de la práctica musical. En cualquier caso, planteamos el interés de continuar investigando en esta línea, para contribuir a una mayor comprensión del beneficio del entrenamiento musical temprano en la plasticidad cerebral y el rendimiento neurocognitivo.





CONCLUSIONES



7. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación nos permiten extraer las siguientes conclusiones:

1. Con respecto al rendimiento neurocognitivo de los músicos profesionales, hemos apreciado que su rendimiento es mejor que el obtenido por sus homólogos no músicos en:

- *Atención y memoria de trabajo*, mostrando mayor capacidad para atender, procesar, retener y trabajar con estímulos verbales, visoespaciales y visomotores mientras operan mentalmente con ellos.
- *Velocidad de procesamiento de la información*, evidenciándose que el cerebro de los músicos necesita menos tiempo para procesar determinados estímulos visuales y ejecutar la respuesta más apropiada en cada caso, mostrando una mayor rapidez asociativa.
- *Memoria y aprendizaje*, con mejor desempeño en tareas de memoria declarativa episódica verbal y visual, además de una mayor capacidad de aprendizaje.
- *Comprensión verbal*, demostrando un nivel de conocimiento del léxico más elevado, una mayor precisión a la hora de elaborar conceptos, y una mejor expresión verbal. Además, muestran un mejor pensamiento asociativo y una mayor capacidad de razonamiento abstracto y lógico que los no músicos.
- *Razonamiento perceptivo y habilidades visoespaciales y visoconstructivas*, indicativo de una mejor habilidad para resolver problemas no verbales y manipular y trabajar con materiales y estímulos visoespaciales, así como una mejor coordinación visomotora, y la utilización de estrategias de resolución de problemas más efectivas.
- *Habilidades motoras*, mostrando una mayor destreza al realizar tanto movimientos gruesos como finos con los dedos y manos, y mejor coordinación bimanual. Desarrollan mayor velocidad y eficiencia motora en ambas manos, siendo más acentuadas con la mano no dominante.
- *Funciones ejecutivas*, en las que obtienen mejor rendimiento en algunos de sus componentes como la atención, memoria de trabajo, control inhibitorio y fluidez verbal. Sin embargo, estos beneficios del entrenamiento musical no se ponen de manifiesto cuando las tareas requieren flexibilidad cognitiva y capacidad de planificación, en las que obtienen el mismo rendimiento que los no músicos.

2. Con respecto a las distintas capacidades cognitivas específicas y la capacidad intelectual general de los músicos profesionales, hemos apreciado que su rendimiento es mejor que el obtenido por sus homólogos no músicos en:

- Las cuatro áreas de aptitud evaluadas, evidenciándose mejor ejecución en *comprensión verbal, razonamiento perceptivo, memoria de trabajo, y velocidad de procesamiento de la información*.
- En la *capacidad intelectual general*, a la que contribuyen de forma similar las distintas capacidades cognitivas, generando un perfil aptitudinal armónico y una clasificación superior.

3. Los resultados han puesto de manifiesto un rendimiento neurocognitivo diferencial en función del sexo, que implica una ventaja femenina en velocidad de procesamiento y masculina en tareas que implican velocidad y control psicomotor bimanual.

4. El rendimiento neurocognitivo y la capacidad intelectual general de los músicos es independiente tanto de la especialidad instrumental que desarrollan, como de la edad a la que comienzan su entrenamiento musical.

5. Los beneficios neurocognitivos descritos en los músicos profesionales podrían estar relacionados con el hecho de que este grupo poblacional es uno de los que más tiempo dedica a la adquisición y práctica de un amplio abanico de habilidades cognitivas sofisticadas requeridas por el entrenamiento musical: lectura e interpretación de un lenguaje complejo basado en relaciones espaciales; práctica habitual de estudios y obras musicales de memoria tanto auditiva como visual; atención y procesamiento simultáneo de múltiples flujos de información sensorial provenientes de la propia interpretación y de la del resto de integrantes de la agrupación; sincronización, coordinación y control sensoriomotor individual y con el conjunto musical, y monitorización y autorregulación conductual constante, entre otros.

6. Nuestros hallazgos son consistentes con las diferencias neuroestructurales evidenciadas en la literatura, y que nos llevan a plantear que los músicos profesionales podrían poseer una arquitectura cerebral mejorada con una mayor densidad de la sustancia gris tanto en la corteza cerebral posterior (especialmente en regiones parietales y temporales), como en la anterior, y particularmente en las áreas motoras, premotoras y suplementaria, y la corteza prefrontal dorsolateral y cingular. También planteamos que podrían contar con mayor volumen de estructuras subcorticales como el hipocampo, adaptaciones ventajosas en el cerebelo y los ganglios basales, y una organización microestructural mejorada de la materia blanca. Estos cambios estructurales podrían ser parte del soporte neural necesario para llevar a cabo las distintas habilidades demandadas por el entrenamiento musical.

7. Con este trabajo pretendemos hacer una aportación a la literatura profundizando en el funcionamiento neurocognitivo de los músicos profesionales. Sin embargo, teniendo en cuenta nuestros hallazgos, entendemos que para alcanzar una mayor comprensión de los beneficios neurocognitivos del entrenamiento musical se requiere continuar investigando en esta línea, atendiendo no sólo a los aspectos funcionales sino también utilizando diseños que permitan la incorporación de medidas neuroestructurales. Por otro lado, también merece mención que una de las limitaciones de nuestro trabajo atañe a su carácter transversal, diseño que dificulta la realización de inferencias causales. Así mismo, a pesar de haber incrementado el tamaño muestral con respecto a la mayor parte de los estudios previos, sería de interés poder evaluar a un mayor número de participantes que pertenezcan también a un mayor número de agrupaciones musicales. Si bien es cierto que la investigación que presentamos es novedosa en tanto que se realiza una valoración exhaustiva del rendimiento cognitivo de los músicos profesionales, a la vista de los hallazgos nos planteamos el interés de realizar en futuros trabajos una evaluación que incluya nuevos componentes de algunas de las habilidades cognitivas, y en especial del funcionamiento ejecutivo, que permita profundizar más en su perfil neurocognitivo. Es por todo ello que planteamos el interés de llevar a cabo investigaciones que incluyan diseños no sólo transversales, sino también longitudinales que permitan determinar la contribución relativa del entrenamiento musical al desarrollo de estas habilidades y la posible presencia de un período sensible para la obtención de estas ventajas neurocognitivas. Además, evaluar muestras más numerosas que no sólo valoren el funcionamiento neurocognitivo sino también su soporte neuroanatómico, podría contribuir de manera importante a profundizar en la comprensión de la compleja relación cerebro-música.





BIBLIOGRAFÍA



8. BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, A. (2002). Music, maestro, please! *Nature*, 416(6876), 12–14. <https://doi.org/10.1038/416012a>
- Abdul-Kareem, I. A., Stancak, A., Parkes, L. M., & Sluming, V. (2011). Increased gray matter volume of left pars opercularis in male orchestral musicians correlate positively with years of musical performance. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 33(1), 24–32. <https://doi.org/10.1002/jmri.22391>
- Abrahan, V. D., Shifres, F., & Justel, N. (2019). Cognitive benefits from a musical activity in older adults. *Frontiers in Psychology*, 10(MAR). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00652>
- Acosta, M. T. (2000). *Rev Neurol* 2000; 31 (4): 360-367. 31(4), 367. <http://www.revneurol.com/3104/j040360.pdf>
- Alain, C., Khatamian, Y., He, Y., Lee, Y., Moreno, S., Leung, A. W. S., & Bialystok, E. (2018). Different neural activities support auditory working memory in musicians and bilinguals. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1423(1), 435–446. <https://doi.org/10.1111/nyas.13717>
- Alnassar, S., Alrashoudi, A. N., Alaqeel, M., Alotaibi, H., Alkahel, A., Hajjar, W., Al-shaikh, G., Alsaif, A., Haque, S., & Meo, S. A. (2016). Clinical psychomotor skills among left and right handed medical students: Are the left-handed medical students left out? *BMC Medical Education*, 16(1), 1–7. <https://doi.org/10.1186/s12909-016-0611-7>
- Alvarez, J. A., & Emory, E. (2006). Executive Function and the Frontal Lobes: A Meta-Analytic Review. *Neuropsychology Review*, 16(1), 17–42. <https://doi.org/10.1007/s11065-006-9002-x>
- Alvarez, P., & Squire, L. R. (1994). Memory consolidation and the medial temporal lobe: A simple network model. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 91(15), 7041–7045. <https://doi.org/10.1073/pnas.91.15.7041>
- Amer, T., Kalender, B., Hasher, L., Trehub, S. E., & Wong, Y. (2013). Do Older Professional Musicians Have Cognitive Advantages? *PLoS ONE*, 8(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071630>
- Amunts, K., Jäncke, L., Mohlberg, H., Steinmetz, H., & Zilles, K. (2000). Interhemispheric asymmetry of the human motor cortex related to handedness and gender. *Neuropsychologia*, 38(3), 304–312. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00075-5](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00075-5)
- Amunts, K., Schlaug, G., Jäncke, L., Steinmetz, H., Schleicher, A., Dabringhaus, A., & Zilles, K. (1997). Motor cortex and hand motor skills: Structural compliance in the human brain. *Human Brain Mapping*, 5(3), 206–215. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-)

- 0193(1997)5:3<206::AID-HBM5>3.0.CO;2-7
- Anaya, E. M. (2013). *Musicians' enhanced cognitive and perceptual skills: Modality-specific or modality-general?* [Indiana University].
<https://search.proquest.com/openview/7d0b9478c67ecf4b15b1a287f7292107/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750&diss=y>
- Anaya, E. M., Pisoni, D. B., & Kronenberger, W. G. (2016). Long-term musical experience and auditory and visual perceptual abilities under adverse conditions. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 140(3), 2074–2081. <https://doi.org/10.1121/1.4962628>
- Anaya, E. M., Pisoni, D. B., & Kronenberger, W. G. (2017). Visual-spatial sequence learning and memory in trained musicians. *Psychology of Music*, 45(1), 5–21. <https://doi.org/10.1177/0305735616638942>
- Anderson, A. A., Parsa, K., Geiger, S., Zaragoza, R., Kermanian, R., Miguel, H., Dashtestani, H., Chowdhry, F. A., Smith, E., Aram, S., & Gandjbakhche, A. H. (2018). Exploring the role of task performance and learning style on prefrontal hemodynamics during a working memory task. *PLoS ONE*, 13(6), 1–16. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198257>
- Andrade, P. E. (2004). Uma abordagem evolucionária e neurocientífica da música. *Neurociências*, 1(1), 21–33. <https://cutt.ly/Ngt4oCS>
- Aoki, T., Furuya, S., & Kinoshita, H. (2005). Finger-Tapping Ability in Male and Female Pianists and Nonmusician Controls. *Motor Control*, 9(1), 23–39. <https://doi.org/10.1123/mcj.9.1.23>
- Arenaza-Urquijo, E. M., & Bartrés-Faz, D. (2014). Reserva Cognitiva. In *Neurociencia Cognitiva* (Redolar D., pp. 185–197). Editorial médica panamericana. <https://cutt.ly/1gylCrb>
- Astur, R. S., Tropp, J., Sava, S., Constable, R. T., & Markus, E. J. (2004). Sex differences and correlations in a virtual Morris water task, a virtual radial arm maze, and mental rotation☆. *Behavioural Brain Research*, 151(1–2), 103–115. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2003.08.024>
- Auerbach, S. (1906). Zur Lokalisation des musicalischen Talentes im Gehirn und am Schädel. *Archives of Anatomy and Physiology*, 1906, 197–230.
- Ayotte, J., Peretz, I., Rousseau, I., Bard, C., & Bojanowski, M. (2000). Patterns of music agnosia associated with middle cerebral artery infarcts. *Brain*, 123(9), 1926–1938. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/brain/123.9.1926>
- Baddeley, A. (2003). Working memory: Looking back and looking forward. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(10), 829–839. <https://doi.org/10.1038/nrn1201>
- Baer, L. H., Park, M. T. M., Bailey, J. A., Chakravarty, M. M., Li, K. Z. H., & Penhune, V. B. (2015). Regional cerebellar volumes are related to early musical training and finger tapping performance. *NeuroImage*, 109, 130–139.

- <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.12.076>
- Bailey, J. A., & Penhune, V. B. (2010). Rhythm synchronization performance and auditory working memory in early- and late-trained musicians. *Experimental Brain Research*, 204(1), 91–101. <https://doi.org/10.1007/s00221-010-2299-y>
- Bailey, J. A., & Penhune, V. B. (2012). A sensitive period for musical training: contributions of age of onset and cognitive abilities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1252(1), 163–170. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06434.x>
- Bailey, J. A., & Penhune, V. B. (2013). The relationship between the age of onset of musical training and rhythm synchronization performance: validation of sensitive period effects. *Frontiers in Neuroscience*, 7(November), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00227>
- Bailey, J. A., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2014). Early Musical Training Is Linked to Gray Matter Structure in the Ventral Premotor Cortex and Auditory–Motor Rhythm Synchronization Performance. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 26(4), 755–767. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00527
- Bangert, M., & Schlaug, G. (2006). Specialization of the specialized in features of external human brain morphology. *European Journal of Neuroscience*, 24(6), 1832–1834. <https://doi.org/10.1111/j.1460-9568.2006.05031.x>
- Barbey, A. K., Koenigs, M., & Grafman, J. (2013). Dorsolateral prefrontal contributions to human working memory. *Cortex*, 49(5), 1195–1205. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2012.05.022>
- Barkley, R. A. (2011). Deficits in executive functioning scale (BDEFS). *New York: Guilford Publications*.
- Barnsley, R. H., & Rabinovitch, M. S. (1970). Handedness: Proficiency versus Stated Preference. *Perceptual and Motor Skills*, 30(2), 343–362. <https://doi.org/10.2466/pms.1970.30.2.343>
- Barrett, K. C., Ashley, R., Strait, D. L., & Kraus, N. (2013). Art and science: how musical training shapes the brain. *Frontiers in Psychology*, 4(October). <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00713>
- Baumann, S., Koeneke, S., Schmidt, C. F., Meyer, M., Lutz, K., & Jancke, L. (2007). A network for audio-motor coordination in skilled pianists and non-musicians. *Brain Research*, 1161(1), 65–78. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2007.05.045>
- Bear, M. F., Connors, B. W., & Paradiso, M. . (2002). *Neurociencia: explorando el cerebro* (Masson).
- Bengtsson, S. L., Nagy, Z., Skare, S., Forsman, L., Forssberg, H., & Ullén, F. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature Neuroscience*, 8(9), 1148–1150. <https://doi.org/10.1038/nn1516>
- Benton, A. L., Varney, N. R., & Hamsher, K. deS. (1978). Visuospatial judgment: A clinical

- test. *Archives of Neurology*, 35(6), 364–367.
<https://doi.org/10.1001/archneur.1978.00500300038006>
- Benz, S., Sellaro, R., Hommel, B., & Colzato, L. S. (2016). Music makes the world go round: The impact of musical training on non-musical cognitive functions-a review. *Frontiers in Psychology*, 6(JAN), 1–5. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.02023>
- Beratis, I. N., Rabavilas, A. D., Kyprianou, M., Papadimitriou, G. N., & Papageorgiou, C. (2013). Investigation of the link between higher order cognitive functions and handedness. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 35(4), 393–403. <https://doi.org/10.1080/13803395.2013.778231>
- Beratis, I. N., Rabavilas, A., Papadimitriou, G. N., & Papageorgiou, C. (2010). Effect of handedness on the Stroop colour word task. *Laterality*, 15(6), 597–609. <https://doi.org/10.1080/13576500903071104>
- Bergman Nutley, S., Darki, F., & Klingberg, T. (2014). Music practice is associated with development of working memory during childhood and adolescence. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(JAN), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00926>
- Bermudez, P., Lerch, J. P., Evans, A. C., & Zatorre, R. J. (2009). Neuroanatomical correlates of musicianship as revealed by cortical thickness and voxel-based morphometry. *Cerebral Cortex*, 19(7), 1583–1596. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhn196>
- Besson, M., Dittinger, E., & Barbaroux, M. (2018). How music training influences language processing: Evidence against informationnal encapsulation. *L'Année Psychologique*, 118(3), 273. <https://doi.org/10.3917/anpsy1.183.0273>
- Bialystok, E., & DePape, A.-M. (2009). Musical expertise, bilingualism, and executive functioning. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 35(2), 565–574. <https://doi.org/10.1037/a0012735>
- Bianco, V., Berchicci, M., Perri, R. L., Quinzi, F., & Di Russo, F. (2017). Exercise-related cognitive effects on sensory-motor control in athletes and drummers compared to non-athletes and other musicians. *Neuroscience*, 360, 39–47. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.07.059>
- Bilhartz, T. D., Bruhn, R. A., & Olson, J. E. (2000). The Effect of Early Music Training on Child Cognitive Development. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 20(4), 615–636. [https://doi.org/10.1016/S0193-3973\(99\)00033-7](https://doi.org/10.1016/S0193-3973(99)00033-7)
- Boebinger, D., Evans, S., Rosen, S., Lima, C. F., Manly, T., & Scott, S. K. (2015). Musicians and non-musicians are equally adept at perceiving masked speech. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 137(1), 378–387. <https://doi.org/10.1121/1.4904537>
- Bogdanov, M., & Schwabe, L. (2016). Transcranial stimulation of the dorsolateral prefrontal cortex prevents stress-induced working memory deficits. *Journal of Neuroscience*, 36(4), 1429–1437. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3687-15.2016>

- Bornstein, R. A. (1986). Normative data on intermanual differences on three tests of motor performance. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 8(1), 12–20. <https://doi.org/10.1080/01688638608401293>
- Boyke, J., Driemeyer, J., Gaser, C., Büchel, C., & May, A. (2008). Training-induced brain structure changes in the elderly. *Journal of Neuroscience*, 28(28), 7031–7035. <https://doi.org/https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0742-08.2008>
- Brandler, S., & Rammsayer, T. H. (2003). Differences in mental abilities between musicians and non-musicians. *Psychology of Music*, 31(2), 123–138. <https://doi.org/10.1177/0305735603031002290>
- Braun Janzen, T., Thompson, W. F., Ammirante, P., & Ranvaud, R. (2014). Timing skills and expertise: discrete and continuous timed movements among musicians and athletes. *Frontiers in Psychology*, 5(DEC), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01482>
- Braun Janzen, T., Thompson, W. F., & Ranvaud, R. (2014). A developmental study of the effect of music training on timed movements. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00801>
- Breiter, H. C., Gollub, R. L., Weisskoff, R. M., Kennedy, D. N., Makris, N., Berke, J. D., Goodman, J. M., Kantor, H. L., Gastfriend, D. R., & Riorden, J. P. (1997). Acute effects of cocaine on human brain activity and emotion. *Neuron*, 19(3), 591–611. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0896-6273\(00\)80374-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0896-6273(00)80374-8)
- Brochard, R., Dufour, A., & Després, O. (2004). Effect of musical expertise on visuospatial abilities: Evidence from reaction times and mental imagery. *Brain and Cognition*, 54(2), 103–109. [https://doi.org/10.1016/S0278-2626\(03\)00264-1](https://doi.org/10.1016/S0278-2626(03)00264-1)
- Bugos, J. A. (2010). The benefits of music instruction on processing speed, verbal fluency, and cognitive control in aging. *Music Educ. Res. Int*, 4, 1–9. <http://cmer.arts.usf.edu/content/articlefiles/3122-MERI04pp19.pdf>
- Bugos, J. A., & Mostafa, W. (2011). Musical Training Enhances Information Processing Speed. *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 187, 7–18. <http://www.jstor.org/stable/41162320?origin=JSTOR-pdf>
- Bugos, J. A., Perlstein, W. M., McCrae, C. S., Brophy, T. S., & Bedenbaugh, P. H. (2007). Individualized Piano Instruction enhances executive functioning and working memory in older adults. *Aging & Mental Health*, 11(4), 464–471. <https://doi.org/10.1080/13607860601086504>
- Camarata, S., & Woodcock, R. (2006). Sex differences in processing speed: Developmental effects in males and females. *Intelligence*, 34(3), 231–252. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2005.12.001>
- Cánovas, D. A., Estévez, A. F., & Sánchez-Santed, F. (2008). *El cerebro musical*. Universidad de Almería.

- Cantú Cervantes, D., Lera Mejía, J. A., & Baca Pumarejo, J. R. (2017). Especialización hemisférica y estudios sobre lateralidad. *Revista de Psicología y Ciencias Del Comportamiento de La Unidad Académica de Ciencias Jurídicas y Sociales*, 8(2), 6–50. <https://doi.org/10.29365/rpcc.20171229-58>
- Castillo, I. I. (2009). Evaluación de resultados clínicos (II): Las medidas de la significación clínica o los tamaños del efecto. *Norte de Salud Mental*, 8(34), 94–110. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4830218>
- Chan, A. S., Ho, Y.-C., & Cheung, M.-C. (1998). Music training improves verbal memory. *Nature*, 396(6707), 128–128. <https://doi.org/10.1038/24075>
- Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008). Moving on Time: Brain Network for Auditory-Motor Synchronization is Modulated by Rhythm Complexity and Musical Training. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(2), 226–239. <https://doi.org/10.1162/jocn.2008.20018>
- Chen, J. L., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2006). Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms. *NeuroImage*, 32(4), 1771–1781. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.04.207>
- Chen, J., Woollacott, M., & Pologe, S. (2006). Accuracy and underlying mechanisms of shifting movements in cellists. *Experimental Brain Research*, 174(3), 467–476. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0483-x>
- Chen, M., Hsu, C., & Chiang, T. (2013). The Effects of Music Training on the Cognitive Ability and Auditory Memory. *Proceedings of the Institute of Industrial Engineers Asian Conference 2013*, 1225–1232. <https://doi.org/10.1007/978-981-4451-98-7>
- Chieffo, R., Straffi, L., Inuggi, A., Gonzalez-Rosa, J. J., Spagnolo, F., Coppi, E., Nuara, A., Houdayer, E., Comi, G., & Leocani, L. (2016). Motor cortical plasticity to training started in childhood: The example of piano players. *PLoS ONE*, 11(6), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157952>
- Chopra, S., Shaw, M., Shaw, T., Sachdev, P. S., Anstey, K. J., & Cherbuin, N. (2018). More highly myelinated white matter tracts are associated with faster processing speed in healthy adults. *NeuroImage*, 171, 332–340. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.069>
- Christianson, M. K., & Leathem, J. M. (2004). Development and standardisation of the computerised finger tapping test: Comparison with other finger tapping instruments. *New Zealand Journal of Psychology*, 33(2), 44. <https://n9.cl/9a87>
- Clayton, K. K., Swaminathan, J., Yazdanbakhsh, A., Zuk, J., Patel, A. D., & Kidd, G. (2016). Executive Function, Visual Attention and the Cocktail Party Problem in Musicians and Non-Musicians. *PLOS ONE*, 11(7), e0157638. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0157638>

- Cohen, J. (1988). The effect size index: d. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2(1).
- Cohen, M. A., Evans, K. K., Horowitz, T. S., & Wolfe, J. M. (2011). Auditory and visual memory in musicians and nonmusicians. *Psychonomic Bulletin & Review*, 18(3), 586–591. <https://doi.org/10.3758/s13423-011-0074-0>
- Collins, D. W., & Kimura, D. (1997). A large sex difference on a two-dimensional mental rotation task. *Behavioral Neuroscience*, 111(4), 845–849. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.111.4.845>
- Colom, R., García, L. F., Juan-Espinosa, M., & Abad, F. J. (2002). Null sex differences in general intelligence: Evidence from the WAIS-III. *The Spanish Journal of Psychology*, 5(1), 29–35. <https://cutt.ly/jgyzbRP>
- Conard, N. J., Malina, M., & Münzel, S. C. (2009). New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany. *Nature*, 460(7256), 737–740. <https://doi.org/10.1038/nature08169>
- Corral, M., Rodríguez, M., Amenedo, E., Sánchez, J. L., & Díaz, F. (2006). Cognitive reserve, age, and neuropsychological performance in healthy participants. *Developmental Neuropsychology*, 29(3), 479–491. https://doi.org/10.1207/s15326942dn2903_6
- Corsi, P. M. (1973). *Human memory and the medial temporal region of the brain*. ProQuest Information & Learning.
- Costa-Giomi, E., Gilmour, R., Siddell, J., & Lefebvre, E. (2001). Absolute pitch, early musical instruction, and spatial abilities. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 394–396. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb05750.x>
- Costantino, A., Di Stefano, N., Taffoni, F., Di Pino, G., Casale, M., & Keller, F. (2020). Embodying melody through a conducting baton: a pilot comparison between musicians and non-musicians. *Experimental Brain Research*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s00221-020-05890-z>
- Crestani, A. P., Krueger, J. N., Barragan, E. V., Nakazawa, Y., Nemes, S. E., Quillfeldt, J. A., Gray, J. A., & Wiltgen, B. J. (2019). Metaplasticity contributes to memory formation in the hippocampus. *Neuropsychopharmacology*, 44(2), 408–414. <https://doi.org/10.1038/s41386-018-0096-7>
- Criscuolo, A., Bonetti, L., Särkämö, T., Kliuchko, M., & Brattico, E. (2019). On the Association Between Musical Training, Intelligence and Executive Functions in Adulthood. *Frontiers in Psychology*, 10(JULY), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01704>
- Cross, I., & Morley, I. R. M. (2010). *The evolution of music: Theories, definitions and the nature of the evidence* (S. Malloch & C. Trevarthen (eds.); Issue 5, pp. 61–81). Oxford University Press. <https://cutt.ly/1gyzTUN>
- Custodio, N., & Cano-Campos, M. (2017). Efectos de la música sobre las funciones cognitivas.

- Revista de Neuro-Psiquiatria*, 80(1), 60. <https://doi.org/10.20453/rnp.v80i1.3060>
- D'Souza, A. A., Moradzadeh, L., & Wiseheart, M. (2018). Musical training, bilingualism, and executive function: working memory and inhibitory control. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 3(1). <https://doi.org/10.1186/s41235-018-0095-6>
- Da Silva, J. A., Galdino, M. K. C., Gadelha, M. J. N., De Andrade, M. J. O., & Santos, N. A. Dos. (2013). Revisão sobre o processamento neuropsicológico dos atributos tonais da música no contexto ocidental. *Avances En Psicología Latinoamericana*, 31(1), 86–96. <https://cutt.ly/5gyqBHq>
- Daseking, M., Petermann, F., & Waldmann, H. C. (2017). Sex differences in cognitive abilities: Analyses for the German WAIS-IV. *Personality and Individual Differences*, 114, 145–150. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2017.04.003>
- de Deus, M. J., & da Silva Duarte, M. de F. (1997). Nível de pressão sonora em academias de ginástica e a percepção auditiva dos professores. *Revista Brasileira de Atividade Física & Saúde*, 2(2), 5–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.12820/rbafs.v.2n2p5-16>
- De Villers-Sidani, E., & Merzenich, M. M. (2011). Lifelong plasticity in the rat auditory cortex. Basic mechanisms and role of sensory experience. In *Progress in Brain Research* (1st ed., Vol. 191, Issue 415). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53752-2.00009-6>
- Degé, F., Kubicek, C., & Schwarzer, G. (2011). Music Lessons and Intelligence: A Relation Mediated by Executive Functions. *Music Perception*, 29(2), 195–201. <https://doi.org/10.1525/mp.2011.29.2.195>
- Degé, F., Wehrum, S., Stark, R., & Schwarzer, G. (2011). The influence of two years of school music training in secondary school on visual and auditory memory. *European Journal of Developmental Psychology*, 8(5), 608–623. <https://doi.org/10.1080/17405629.2011.590668>
- Dennis, J. P., & Vander Wal, J. S. (2010). The cognitive flexibility inventory: Instrument development and estimates of reliability and validity. *Cognitive Therapy and Research*, 34(3), 241–253. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10608-009-9276-4>
- Di Pietro, M., Laganaro, M., Leemann, B., & Schnider, A. (2004). Receptive amusia: temporal auditory processing deficit in a professional musician following a left temporo-parietal lesion. *Neuropsychologia*, 42(7), 868–877. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2003.12.004>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Diamond, A. (2015). Why improving and assessing executive functions early in life is critical. *Executive Function in Preschool-Age Children: Integrating Measurement, Neurodevelopment, and Translational Research.*, 11–43. <https://doi.org/10.1037/14797-002>

- Dodrill, C. B. (1979). Sex differences on the Halstead-Reitan neuropsychological battery and on other neuropsychological measures. *Journal of Clinical Psychology*, 35(2), 236–241. [https://doi.org/10.1002/1097-4679\(197904\)35:2<236::AID-JCLP2270350202>3.0.CO;2-9](https://doi.org/10.1002/1097-4679(197904)35:2<236::AID-JCLP2270350202>3.0.CO;2-9)
- Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427(6972), 311–312. <https://doi.org/10.1038/427311a>
- Draganski, B., & May, A. (2008). Training-induced structural changes in the adult human brain. *Behavioural Brain Research*, 192(1), 137–142. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2008.02.015>
- Echavarri, M., Godoy, J. C., & Olaz, F. (2007). Diferencias de género en habilidades cognitivas y rendimiento académico en estudiantes universitarios. *Universitas Psychologica*, 6(2), 319–329. <https://revistas.javeriana.edu.co/index.php/revPsycho/article/view/120>
- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995). Increased Cortical Representation of the Fingers of the Left Hand in String Players. *Science*, 270(5234), 305–307. <https://doi.org/10.1126/science.270.5234.305>
- Elgersma, Y., & Silva, A. J. (1999). Molecular mechanisms of synaptic plasticity and memory. *Current Opinion in Neurobiology*, 9(2), 209–213. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(99\)80029-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(99)80029-4)
- Falk, L. (1977). The effects of music tempos on a motor skill. *Journal of the Tennessee Academy of Science*, 52(150), 156–162.
- Fauvel, B., Groussard, M., Mutlu, J., Arenaza-Urquijo, E. M., Eustache, F., Desgranges, B., & Platel, H. (2014). Musical practice and cognitive aging: two cross-sectional studies point to phonemic fluency as a potential candidate for a use-dependent adaptation. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6(OCT). <https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00227>
- Fishman, Y. I., Volkov, I. O., Noh, M. D., Garell, P. C., Bakken, H., Arezzo, J. C., Howard, M. A., & Steinschneider, M. (2001). Consonance and dissonance of musical chords: neural correlates in auditory cortex of monkeys and humans. *Journal of Neurophysiology*, 86(6), 2761–2788. <https://doi.org/https://doi.org/10.1152/jn.2001.86.6.2761>
- Fodor, J. A. (1983). *The modularity of mind*. MIT press.
- Forgeard, M., Winner, E., Norton, A., & Schlaug, G. (2008). Practicing a musical instrument in childhood is associated with enhanced verbal ability and nonverbal reasoning. *PLoS ONE*, 3(10), 1–8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003566>
- Foxton, J. M., Nandy, R. K., & Griffiths, T. D. (2006). Rhythm deficits in ‘tone deafness.’ *Brain and Cognition*, 62(1), 24–29. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.bandc.2006.03.005>
- Franěk, M., Mates, J., Radil, T., Beck, K., & Pöppel, E. (1991). Finger tapping in musicians and nonmusicians. *International Journal of Psychophysiology*, 11(3), 277–279.

- [https://doi.org/10.1016/0167-8760\(91\)90022-P](https://doi.org/10.1016/0167-8760(91)90022-P)
- Franklin, M. S., Moore, K. S., Yip, C. Y., Jonides, J., Rattray, K., & Moher, J. (2008). The effects of musical training on verbal memory. *Psychology of Music*, 36(3), 353–365. <https://doi.org/10.1177/0305735607086044>
- Fries, W., & Swihart, A. A. (1990). Disturbance of rhythm sense following right hemisphere damage. *Neuropsychologia*, 28(12), 1317–1323. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0028-3932\(90\)90047-R](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0028-3932(90)90047-R)
- Fritz, T., Jentschke, S., Gosselin, N., Sammler, D., Peretz, I., Turner, R., Friederici, A. D., & Koelsch, S. (2009). Universal recognition of three basic emotions in music. *Current Biology*, 19(7), 573–576. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.02.058>
- Gaab, N., Gaser, C., Zaehle, T., Jancke, L., & Schlaug, G. (2003). Functional anatomy of pitch memory—an fMRI study with sparse temporal sampling. *Neuroimage*, 19(4), 1417–1426. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1053-8119\(03\)00224-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1053-8119(03)00224-6)
- Gabrielsson, A. (1999). The Performance of Music. In *The Psychology of Music* (pp. 501–602). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-012213564-4/50015-9>
- Gabrielsson, A., & Lindström, E. (2001). The influence of musical structure on emotional expression. In P. N. Juslin & J. A. Sloboda (Eds.), *Music and Emotion: Theory and Research* (pp. 223–248). Oxford University Press.
- Gagnon, R., & Nicoladis, E. (2020). Musicians show greater cross-modal integration, intermodal integration, and specialization in working memory than non-musicians. *Psychology of Music*. <https://doi.org/10.1177/0305735619896088>
- Garavan, H., Kelley, D., Rosen, A., Rao, S. M., & Stein, E. A. (2000). Practice-related functional activation changes in a working memory task. *Microscopy Research and Technique*, 51(1), 54–63. [https://doi.org/10.1002/1097-0029\(20001001\)51:1<54::AID-JEMT6>3.3.CO;2-A](https://doi.org/10.1002/1097-0029(20001001)51:1<54::AID-JEMT6>3.3.CO;2-A)
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *Journal of Neuroscience*, 23(27), 9240–9245. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.23-27-09240.2003>
- Geethanjal, B., Adalarasu, K., & Jagannath, M. (2018). Music induced emotion and music processing in the brain-a review. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 12(1), 11–13. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2018/30384.11060>
- Gentner, R., Gorges, S., Weise, D., Aufm Kampe, K., Buttmann, M., & Classen, J. (2010). Encoding of motor skill in the corticomuscular system of musicians. *Current Biology*, 20(20), 1869–1874. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.09.045>
- George, E. M., & Coch, D. (2011). Music training and working memory: An ERP study. *Neuropsychologia*, 49(5), 1083–1094. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.001>

- Ghisletta, P., Bickel, J.-F., & Lovden, M. (2006). Does Activity Engagement Protect Against Cognitive Decline in Old Age? Methodological and Analytical Considerations. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 61(5), P253–P261. <https://doi.org/10.1093/geronb/61.5.P253>
- Giovagnoli, A. R., & Raglio, A. (2011). Cognitive Abilities of Musicians. *Perceptual and Motor Skills*, 113(2), 563–569. <https://doi.org/10.2466/04.11.22.23.PMS.113.5.563-569>
- Golden, C. J. (1978). Stroop Color and Word Test: a manual for clinical and experimental uses. 1978. Chicago, IL: Stoelting Co.
- Golestani, N., & Zatorre, R. J. (2004). Learning new sounds of speech: reallocation of neural substrates. *NeuroImage*, 21(2), 494–506. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.09.071>
- Good, C. D., Johnsrude, I., Ashburner, J., Henson, R. N. A., Friston, K. J., & Frackowiak, R. S. J. (2001). Cerebral asymmetry and the effects of sex and handedness on brain structure: a voxel-based morphometric analysis of 465 normal adult human brains. *Neuroimage*, 14(3), 685–700. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0857>
- Gooding, L. F., Abner, E. L., Jicha, G. A., Kryscio, R. J., & Schmitt, F. A. (2014). Musical training and late-life cognition. *American Journal of Alzheimer's Disease and Other Dementias*, 29(4), 333–343. <https://doi.org/10.1177/1533317513517048>
- Gordon, N. G., O'dell, J. W., & Bozeman, N. (1981). Variation in neuropsychological performance as a function of sex. *The Journal of Psychology*, 109(1), 127–131. <https://doi.org/10.1080/00223980.1981.9915296>
- Gosselin, N., Peretz, I., Johnsen, E., & Adolphs, R. (2007). Amygdala damage impairs emotion recognition from music. *Neuropsychologia*, 45(2), 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.07.012>
- Grahn, J. A., & Brett, M. (2007). Rhythm and beat perception in motor areas of the brain. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(5), 893–906. <https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.5.893>
- Granert, O., Peller, M., Jabusch, H. C., Altenmüller, E., & Siebner, H. R. (2011). Sensorimotor skills and focal dystonia are linked to putaminal grey-matter volume in pianists. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, 82(11), 1225–1231. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2011.245811>
- Grassi, M., Meneghetti, C., Toffalini, E., & Borella, E. (2017). Auditory and cognitive performance in elderly musicians and nonmusicians. *PLoS ONE*, 12(11), 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187881>
- Gray, R., & Gow, A. J. (2019). How is musical activity associated with cognitive ability in later life? *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 27(4), 617–635. <https://doi.org/10.1080/13825585.2019.1660300>

- Griffiths, T. D., Johnsrude, I., Dean, J. L., & Green, G. G. R. (1999). A common neural substrate for the analysis of pitch and duration pattern in segmented sound? *NeuroReport*, 10(18), 3825–3830. <https://doi.org/10.1097/00001756-199912160-00019>
- Gromko, J. E. (2004). Predictors in of Music Sight-Reading Ability. *Journal of Research in Music Education*, 52(1), 6–15. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307%2F3345521>
- Groussard, M., La Joie, R., Rauchs, G., Landeau, B., Chételat, G., Viader, F., Desgranges, B., Eustache, F., & Platel, H. (2010). When Music and Long-Term Memory Interact: Effects of Musical Expertise on Functional and Structural Plasticity in the Hippocampus. *PLoS ONE*, 5(10), e13225. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013225>
- Groussard, M., Viader, F., Hubert, V., Landeau, B., Abbas, A., Desgranges, B., Eustache, F., & Platel, H. (2010). Musical and verbal semantic memory: two distinct neural networks? *Neuroimage*, 49(3), 2764–2773. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.10.039>
- Groussard, M., Viader, F., Landeau, B., Desgranges, B., Eustache, F., & Platel, H. (2014). The effects of musical practice on structural plasticity: The dynamics of grey matter changes. *Brain and Cognition*, 90, 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.06.013>
- Gruhn, W., Galley, N., & Kluth, C. (2003). Do Mental Speed and Musical Abilities Interact? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 485–496. <https://doi.org/10.1196/annals.1284.059>
- Gruhn, W., Litt, F., Scherer, A., Schumann, T., Weiß, E. M., & Gebhardt, C. (2006). Suppressing reflexive behaviour: Saccadic eye movements in musicians and non-musicians. *Musicae Scientiae*, 10(1), 19–32. <https://doi.org/10.1177/102986490601000102>
- Hall, D. A., Johnsrude, I. S., Haggard, M. P., Palmer, A. R., Akeroyd, M. A., & Summerfield, A. Q. (2002). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 12(2), 140–149. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/cercor/12.2.140>
- Halpern, A. R. (2003). Cerebral Substrates of Musical Imagery. In *The Cognitive Neuroscience of Music* (pp. 217–230). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780198525202.003.0015>
- Halpern, D. F., Beninger, A. S., & Straight, C. A. (2011). Sex Differences in Intelligence. In R. J. Sternberg & S. B. Kaufman (Eds.), *The Cambridge Handbook of Intelligence* (pp. 253–272). Cambridge University Press. <https://doi.org/DOI:10.1017/CBO9780511977244.014>
- Halpern, D. F., Haviland, M. G., & Killian, C. D. (1998). Handedness and sex differences in intelligence: Evidence from the Medical College admission test. *Brain and Cognition*, 38(1), 87–101. <https://doi.org/10.1006/brcg.1998.1021>
- Halpern, D. F., & LaMay, M. L. (2000). The smarter sex: A critical review of sex differences

- in intelligence. *Educational Psychology Review*, 12(2), 229–246. <https://doi.org/https://doi.org/10.1023/A:1009027516424>
- Halsband, U., Ito, N., Tanji, J., & Freund, H.-J. (1993). The role of premotor cortex and the supplementary motor area in the temporal control of movement in man. *Brain*, 116(1), 243–266. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/brain/116.1.243>
- Halstead, W. C. (1947). *Brain and intelligence; a quantitative study of the frontal lobes*.
- Halwani, G. F., Loui, P., Rüber, T., & Schlaug, G. (2011). Effects of practice and experience on the arcuate fasciculus: Comparing singers, instrumentalists, and non-musicians. *Frontiers in Psychology*, 2(JUL), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00156>
- Han, Y., Yang, H., Lv, Y.-T., Zhu, C.-Z., He, Y., Tang, H.-H., Gong, Q.-Y., Luo, Y.-J., Zang, Y.-F., & Dong, Q. (2009). Gray matter density and white matter integrity in pianists' brain: A combined structural and diffusion tensor MRI study. *Neuroscience Letters*, 459(1), 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.07.056>
- Hanna-Pladdy, B., & Gajewski, B. (2012). Recent and Past Musical Activity Predicts Cognitive Aging Variability: Direct Comparison with General Lifestyle Activities. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6(JULY), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00198>
- Hanna-Pladdy, B., & MacKay, A. (2011). The relation between instrumental musical activity and cognitive aging. *Neuropsychology*, 25(3), 378–386. <https://doi.org/10.1037/a0021895>
- Hansen, M., Wallentin, M., & Vuust, P. (2013). Working memory and musical competence of musicians and non-musicians. *Psychology of Music*, 41(6), 779–793. <https://doi.org/10.1177/0305735612452186>
- Hart, H. C., Palmer, A. R., & Hall, D. A. (2003). Amplitude and frequency-modulated stimuli activate common regions of human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 13(7), 773–781. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/cercor/13.7.773>
- Haslinger, B., Erhard, P., Altenmüller, E., Hennenlotter, A., Schwaiger, M., Gräfin von Einsiedel, H., Rummeny, E., Conrad, B., & Ceballos-Baumann, A. O. (2004). Reduced recruitment of motor association areas during bimanual coordination in concert pianists. *Human Brain Mapping*, 22(3), 206–215. <https://doi.org/10.1002/hbm.20028>
- Hatta, T. (2018). Associations between handedness and executive function in upper-middle-aged people. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 23(3), 274–289. <https://doi.org/10.1080/1357650X.2017.1358273>
- Haueisen, J., & Knösche, T. R. (2001). Involuntary motor activity in pianists evoked by music perception. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(6), 786–792. <https://doi.org/https://doi.org/10.1162/08989290152541449>
- Heaton, R. K., Chelune, G. J., Talley, J. L., Kay, G. G., & Curtiss, G. (2001). *WCST: Test de clasificación de tarjetas de Wisconsin*. TEA Madrid, Spain:
- Hedges, L. (1981). Distribution Theory for Glass's Estimator of Effect size and Related

- Estimators. *Journal of Educational Statistics*, 6(2), 107–128.
<https://doi.org/10.3102/10769986006002107>
- Hedges, L., & Olkin, I. (1985). *Statistical Methods for Meta-Analysis* (Orlando, FL: Academic). *Hedges Statistical Methods for Meta-Analysis 1985*.
- Helmbold, N., Rammsayer, T., & Altenmüller, E. (2005). Differences in Primary Mental Abilities Between Musicians and Nonmusicians. *Journal of Individual Differences*, 26(2), 74–85. <https://doi.org/10.1027/1614-0001.26.2.74>
- Herholz, S. C., & Zatorre, R. J. (2012). Musical Training as a Framework for Brain Plasticity: Behavior, Function, and Structure. *Neuron*, 76(3), 486–502.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.10.011>
- Herrero, L., & Carriedo, N. (2018). Differences in updating processes between musicians and non-musicians from late childhood to adolescence. *Learning and Individual Differences*, 61(December), 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2017.12.006>
- Ho, Y. C., Cheung, M. C., & Chan, A. S. (2003). Music training improves verbal but not visual memory: Cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology*, 17(3), 439–450. <https://doi.org/10.1037/0894-4105.17.3.439>
- Holochwost, S. J., Propper, C. B., Wolf, D. P., Willoughby, M. T., Fisher, K. R., Kolacz, J., Volpe, V. V., & Jaffee, S. R. (2017). Music education, academic achievement, and executive functions. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 11(2), 147–166.
<https://doi.org/10.1037/aca0000112>
- Hooks, B. M., & Chen, C. (2007). Critical periods in the visual system: changing views for a model of experience-dependent plasticity. *Neuron*, 56(2), 312–326.
<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2007.10.003>
- Hosoda, M., & Furuya, S. (2016). Shared somatosensory and motor functions in musicians. *Scientific Reports*, 6(April), 1–10. <https://doi.org/10.1038/srep37632>
- Huang, Z., Zhang, J. X., Yang, Z., Dong, G., Wu, J., Chan, A. S., & Weng, X. (2010). Verbal memory retrieval engages visual cortex in musicians. *Neuroscience*, 168(1), 179–189.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2010.03.027>
- Hughes, C. M. L., & Franz, E. A. (2007). Experience-Dependent Effects in Unimanual and Bimanual Reaction Time Tasks in Musicians. *Journal of Motor Behavior*, 39(1), 3–8.
<https://doi.org/10.3200/JMBR.39.1.3-8>
- Huisman, M., Poppelaars, J., van der Horst, M., Beekman, A. T., Brug, J., van Tilburg, T. G., & Deeg, D. J. (2011). Cohort Profile: The Longitudinal Aging Study Amsterdam. *International Journal of Epidemiology*, 40(4), 868–876.
<https://doi.org/10.1093/ije/dyq219>
- Hund-Georgiadis, M., & Yves Von Cramon, D. (1999). Motor-learning-related changes in piano players and non-musicians revealed by functional magnetic-resonance signals.

- Experimental Brain Research*, 125(4), 417–425. <https://doi.org/10.1007/s002210050698>
- Hutchinson, S. (2003). Cerebellar Volume of Musicians. *Cerebral Cortex*, 13(9), 943–949. <https://doi.org/10.1093/cercor/13.9.943>
- Hyde, K. L., Lerch, J., Norton, A., Forgeard, M., Winner, E., Evans, A. C., & Schlaug, G. (2009). Musical training shapes structural brain development. *Journal of Neuroscience*, 29(10), 3019–3025. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5118-08.2009>
- Imfeld, A., Oechslin, M. S., Meyer, M., Loenneker, T., & Jancke, L. (2009). White matter plasticity in the corticospinal tract of musicians: A diffusion tensor imaging study. *NeuroImage*, 46(3), 600–607. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.02.025>
- Irwing, P. (2012). Sex differences in g: An analysis of the US standardization sample of the WAIS-III. *Personality and Individual Differences*, 53(2), 126–131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.paid.2011.05.001>
- Izquierdo, M. A., Oliver, D. L., & Malmierca, M. S. (2009). Mecanismos de plasticidad (funcional y dependiente de actividad) en el cerebro auditivo adulto y en desarrollo. *Revista de Neurología*, 48(8), 421. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2916753/>
- Jakobson, L. S., Cuddy, L. L., & Kilgour, A. R. (2003). Time Tagging: A Key to Musicians' Superior Memory. *Music Perception*, 20(3), 307–313. <https://doi.org/10.1525/mp.2003.20.3.307>
- Jakobson, L. S., Lewycky, S. T., Kilgour, A. R., & Stoesz, B. M. (2008). Memory for verbal and visual material in highly trained musicians. *Mankind*, 13(3), 293–293. <https://doi.org/10.1111/j.1835-9310.1982.tb01239.x>
- James, C. E., Oechslin, M. S., Van De Ville, D., Hauert, C.-A., Descoux, C., & Lazeyras, F. (2014). Musical training intensity yields opposite effects on grey matter density in cognitive versus sensorimotor networks. *Brain Structure and Function*, 219(1), 353–366. <https://doi.org/10.1007/s00429-013-0504-z>
- James, C. E., Zuber, S., Dupuis-Lozeron, E., Abdili, L., Gervaise, D., & Kliegel, M. (2020). Formal String Instrument Training in a Class Setting Enhances Cognitive and Sensorimotor Development of Primary School Children. *Frontiers in Neuroscience*, 14(June). <https://doi.org/10.3389/fnins.2020.00567>
- Janata, P., Birk, J. L., Van Horn, J. D., Leman, M., Tillmann, B., & Bharucha, J. J. (2002). The cortical topography of tonal structures underlying Western music. *Science*, 298(5601), 2167–2170. <https://doi.org/10.1126/science.1076262>
- Janata, P., & Grafton, S. T. (2003). Swinging in the brain: shared neural substrates for behaviors related to sequencing and music. *Nature Neuroscience*, 6(7), 682–687. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nn1081>
- Jäncke, L. (2012). The relationship between music and language. *Frontiers in Psychology*,

- 3(APR), 2011–2012. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00123>
- Jäncke, L., Schlaug, G., & Steinmetz, H. (1997). Hand Skill Asymmetry in Professional Musicians. *Brain and Cognition*, 34(3), 424–432. <https://doi.org/10.1006/brcg.1997.0922>
- Jäncke, L., Shah, N. J., & Peters, M. (2000). Cortical activations in primary and secondary motor areas during complex bimanual movements in professional piano players. *NeuroImage*, 11(5 PART II), 177–183. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(00\)91795-6](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(00)91795-6)
- Jansen, P., Zayed, K., & Osmann, R. (2016). Gender differences in mental rotation in Oman and Germany. *Learning and Individual Differences*, 51, 284–290. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2016.08.033>
- Jaschke, A. C., Honing, H., & Scherder, E. J. A. (2018). Longitudinal Analysis of Music Education on Executive Functions in Primary School Children. *Frontiers in Neuroscience*, 12(February). <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00103>
- Jensen, A. R. (1998). *The g factor: The science of mental ability* (Vol. 648). Praeger Westport, CT. <https://philipperushton.net/wp-content/uploads/2015/02/Review-of-Arthur-Robert-Jensens-The-g-Factor-The-Science-of-Mental-Ability-1998-by-John-Philippe-Rushton.pdf>
- Jentsch, I., Mkrtchian, A., & Kansal, N. (2014). Improved effectiveness of performance monitoring in amateur instrumental musicians. *Neuropsychologia*, 52(1), 117–124. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.09.025>
- Junqué, C., & Barroso, J. (2009). Manual de Neuropsicología. Editorial Síntesis SA Madrid. ISBN: 978-84-975663-1, 5.
- Karpati, F. J., Giacosa, C., Foster, N. E. V., Penhune, V. B., & Hyde, K. L. (2016). Sensorimotor integration is enhanced in dancers and musicians. *Experimental Brain Research*, 234(3), 893–903. <https://doi.org/10.1007/s00221-015-4524-1>
- Keith, T. Z., Reynolds, M. R., Patel, P. G., & Ridley, K. P. (2008). Sex differences in latent cognitive abilities ages 6 to 59: Evidence from the Woodcock–Johnson III tests of cognitive abilities. *Intelligence*, 36(6), 502–525. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2007.11.001>
- Kerchner, G. A., Racine, C. A., Hale, S., Wilhelm, R., Laluz, V., Miller, B. L., & Kramer, J. H. (2012). Cognitive Processing Speed in Older Adults: Relationship with White Matter Integrity. *PLoS ONE*, 7(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0050425>
- Khalfa, S., Guye, M., Peretz, I., Chapon, F., Girard, N., Chauvel, P., & Liégeois-Chauvel, C. (2008). Evidence of lateralized anteromedial temporal structures involvement in musical emotion processing. *Neuropsychologia*, 46(10), 2485–2493. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.04.009>
- Khalfa, S., Schon, D., Anton, J.-L., & Liégeois-Chauvel, C. (2005). Brain regions involved in the recognition of happiness and sadness in music. *Neuroreport*, 16(18), 1981–1984.

- <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.471.7895&rep=rep1&type=pdf>
- Kimoto, Y., Oku, T., & Furuya, S. (2019). Neuromuscular and biomechanical functions subserving finger dexterity in musicians. *Scientific Reports*, 9(1), 12224. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48718-9>
- Kimura, D. (1999). *Sex and cognition*. MIT press.
- Kincaid, A. E. (2002). Assessment of fine motor skill in musicians and nonmusicians: differences in timing versus sequence accuracy in a bimanual fingering task. *Perceptual and Motor Skills*, 95(4), 245. <https://doi.org/10.2466/PMS.95.4.245-251>
- Kinsler, V., & Carpenter, R. H. S. (1995). Saccadic eye movements while reading music. *Vision Research*, 35(10), 1447–1458. [https://doi.org/10.1016/0042-6989\(95\)98724-N](https://doi.org/10.1016/0042-6989(95)98724-N)
- Knudsen, E. I. (2004). Sensitive periods in the development of the brain and behavior. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16(8), 1412–1425. <https://doi.org/10.1162/0898929042304796>
- Koelsch, S. (2010). Towards a neural basis of music-evoked emotions. *Trends in Cognitive Sciences*, 14(3), 131–137. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.tics.2010.01.002>
- Koelsch, S. (2011). Toward a neural basis of music perception—a review and updated model. *Frontiers in Psychology*, 2, 110. <https://doi.org/https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00110>
- Koelsch, S. (2012). *Brain and music*. John Wiley & Sons.
- Koelsch, S. (2014). Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(3), 170–180. <https://doi.org/10.1038/nrn3666>
- Koelsch, S., Fritz, T., Schulze, K., Alsop, D., & Schlaug, G. (2005). Adults and children processing music: An fMRI study. *NeuroImage*, 25(4), 1068–1076. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.12.050>
- Koelsch, S., Fritz, T., v. Cramon, D. Y., Müller, K., & Friederici, A. D. (2006). Investigating emotion with music: an fMRI study. *Human Brain Mapping*, 27(3), 239–250. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/hbm.20180>
- Koelsch, S., Grossmann, T., Gunter, T. C., Hahne, A., Schröger, E., & Friederici, A. D. (2003). Children processing music: electric brain responses reveal musical competence and gender differences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(5), 683–693. <https://doi.org/https://doi.org/10.1162/jocn.2003.15.5.683>
- Koelsch, S., Gunter, T. C., von Cramon, D. Y., Zysset, S., Lohmann, G., & Friederici, A. D. (2002). Bach speaks: A cortical "language-network" serves the processing of music. *Neuroimage*, 17(2), 956–966. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1154>
- Koelsch, S., Maess, B., Grossmann, T., & Friederici, A. D. (2003). Electric brain responses reveal gender differences in music processing. *NeuroReport*, 14(5), 709–713. <https://doi.org/10.1097/00001756-200304150-00010>

- Koeneke, S., Lutz, K., Wüstenberg, T., & Jäncke, L. (2004). Long-term training affects cerebellar processing in skilled keyboard players. *NeuroReport*, 15(8), 1279–1282. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000127463.10147.e7>
- Kopiez, R., & Galley, N. (2002). The musicians' glance: a pilot study comparing eye movement parameters in musicians and non-musicians. ... *the 7th International Conference ...*, 683–686. <http://musicweb.hmtm-hannover.de/kopiez/ICMPC7.pdf>
- Kopiez, R., & In Lee, J. (2008). Towards a general model of skills involved in sight reading music. *Music Education Research*, 10(1), 41–62. <https://doi.org/10.1080/14613800701871363>
- Kopiez, R., Weihs, C., Ligges, U., & Lee, J. I. (2006). Classification of high and low achievers in a music sight-reading task. *Psychology of Music*, 34(1), 5–26. <https://doi.org/10.1177/0305735606059102>
- Krause, V., Pollok, B., & Schnitzler, A. (2010). Perception in action: The impact of sensory information on sensorimotor synchronization in musicians and non-musicians. *Acta Psychologica*, 133(1), 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2009.08.003>
- Kravitz, D. J., Saleem, K. S., Baker, C. I., & Mishkin, M. (2011). A new neural framework for visuospatial processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 12(4), 217–230. <https://doi.org/10.1038/nrn3008>
- Krings, T., Töpper, R., Foltys, H., Erberich, S., Sparing, R., Willmes, K., & Thron, A. (2000). Cortical activation patterns during complex motor tasks in piano players and control subjects. A functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letters*, 278(3), 189–193. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(99\)00930-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(99)00930-1)
- Kuchenbuch, A., Paraskevopoulos, E., Herholz, S. C., & Pantev, C. (2014). Audio-tactile integration and the influence of musical training. *PLoS ONE*, 9(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0085743>
- Kulynych, J. J., Vladar, K., Jones, D. W., & Weinberger, D. R. (1994). Gender differences in the normal lateralization of the supratemporal cortex: MRI surface-rendering morphometry of Heschl's gyrus and the planum temporale. *Cerebral Cortex*, 4(2), 107–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/cercor/4.2.107>
- Kumar, S., Zomorodi, R., Ghazala, Z., Goodman, M. S., Blumberger, D. M., Cheam, A., Fischer, C., Daskalakis, Z. J., Mulsant, B. H., Pollock, B. G., & Rajji, T. K. (2017). Extent of dorsolateral prefrontal cortex plasticity and its association with working memory in patients with Alzheimer disease. *JAMA Psychiatry*, 74(12), 1266–1274. <https://doi.org/10.1001/jamapsychiatry.2017.3292>
- Kuo, Y. L., Kutch, J. J., & Fisher, B. E. (2019). Relationship between Interhemispheric Inhibition and Dexterous Hand Performance in Musicians and Non-musicians. *Scientific Reports*, 9(1), 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-47959-y>

- Labra Pérez, J. A., & Menor, J. (2014). Estimulación cotidiana y funcionamiento cognitivo: la importancia de la participación de personas mayores sanas en actividades cotidianas cognitivamente demandantes. *European Journal of Investigation in Health, Psychology and Education*, 4(3), 309–319. <https://doi.org/10.30552/ejihpe.v4i3.83>
- Landry, S. P., & Champoux, F. (2017). Musicians react faster and are better multisensory integrators. *Brain and Cognition*, 111, 156–162. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2016.12.001>
- Lang, W., Obrig, H., Lindinger, G., Cheyne, D., & Deecke, L. (1990). Supplementary motor area activation while tapping bimanually different rhythms in musicians. *Experimental Brain Research*, 79(3), 504–514. <https://doi.org/10.1007/BF00229320>
- Langheim, F. J. P., Callicott, J. H., Mattay, V. S., Duyn, J. H., & Weinberger, D. R. (2002). Cortical systems associated with covert music rehearsal. *Neuroimage*, 16(4), 901–908. <https://lfmi.ninds.nih.gov/pubpdf/CortSystAssoCove.pdf>
- Large, E. W., & Palmer, C. (2002). Perceiving temporal regularity in music. *Cognitive Science*, 26(1), 1–37. https://doi.org/https://doi.org/10.1207/s15516709cog2601_1
- Lee, D. J., Chen, Y., & Schlaug, G. (2003). Corpus callosum: musician and gender effects. *NeuroReport*, 14(2), 205–209. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000053761.76853.41>
- Lee, H. Y. (2012). Exploring the association between visual perception abilities and reading of musical notation. *Perceptual and Motor Skills*, 114(3), 699–708. <https://doi.org/10.2466/24.11.22.23.PMS.114.3.699-708>
- Lee, Y., Lu, M., & Ko, H. (2007). Effects of skill training on working memory capacity. *Learning and Instruction*, 17(3), 336–344. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2007.02.010>
- Leh, S. E., Petrides, M., & Strafella, A. P. (2010). The neural circuitry of executive functions in healthy subjects and Parkinson's disease. *Neuropsychopharmacology*, 35(1), 70–85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/npp.2009.88>
- Levitin, D. J. (2006). *This is your brain on music: The science of a human obsession*. Penguin.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. D., & Tranel, D. (2012). *Neuropsychological assessment*. Oxford University Press New York, NY.
- Li, S., Han, Y., Wang, D., Yang, H., Fan, Y., Lv, Y., Tang, H., Gong, Q., Zang, Y., & He, Y. (2010). Mapping surface variability of the central sulcus in musicians. *Cerebral Cortex*, 20(1), 25–33. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhp074>
- Linn, M. C., & Petersen, A. C. (1985). Emergence and characterization of sex differences in spatial ability: a meta-analysis. *Child Development*, 56(6), 1479–1498. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.1985.tb00213.x>
- Lotze, M., Scheler, G., Tan, H. R. M., Braun, C., & Birbaumer, N. (2003). The musician's brain: Functional imaging of amateurs and professionals during performance and imagery.

- NeuroImage*, 20(3), 1817–1829. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2003.07.018>
- Loui, P., Raine, L. B., Chaddock-Heyman, L., Kramer, A. F., & Hillman, C. H. (2019). Musical instrument practice predicts white matter microstructure and cognitive abilities in childhood. *Frontiers in Psychology*, 10(MAY), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01198>
- Loui, P., & Schlaug, G. (2009). Investigating musical disorders with diffusion tensor imaging: A comparison of imaging parameters. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 121. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1111%2Fj.1749-6632.2009.04781.x>
- Luders, E., Gaser, C., Jancke, L., & Schlaug, G. (2004). A voxel-based approach to gray matter asymmetries. *NeuroImage*, 22(2), 656–664. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.01.032>
- Lundqvist, L.-O., Carlsson, F., Hilmersson, P., & Juslin, P. N. (2009). Emotional responses to music: Experience, expression, and physiology. *Psychology of Music*, 37(1), 61–90. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177%2F0305735607086048>
- Lynn, R. (1992). Sex differences on the differential aptitude test in British and American adolescents. *Educational Psychology*, 12(2), 101–102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/0144341920120201>
- MacPherson, S. E., Cox, S. R., Dickie, D. A., Karama, S., Starr, J. M., Evans, A. C., Bastin, M. E., Wardlaw, J. M., & Deary, I. J. (2017). Processing speed and the relationship between Trail Making Test-B performance, cortical thinning and white matter microstructure in older adults. *Cortex*, 95, 92–103. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2017.07.021>
- Madanifard, M., Mazaheri, M., & Janatpoor, N. (2018). Evaluation of the Neurocognitive Executive Functioning in the Musicians and Non-Musicians. *The Neuroscience Journal of Shefaye Khatam*, 6(2), 60–68. <https://doi.org/10.29252/shefa.6.2.60>
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nature Neuroscience*, 4(5), 540–545. <https://doi.org/10.1038/87502>
- Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S. J., & Frith, C. D. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(8), 4398–4403. <https://doi.org/https://doi.org/10.1073/pnas.070039597>
- Manly, J. J., Schupf, N., Tang, M. X., Weiss, C. C., & Stern, Y. (2003). Literacy and cognitive decline among ethnically diverse elders. *Cognitive Reserve: Theory and Applications*, 25(5), 219–235. <https://doi.org/10.4324/9780203783047>
- Mansens, D., Deeg, D. J. H., & Comijs, H. C. (2018). The association between singing and/or playing a musical instrument and cognitive functions in older adults. *Aging & Mental Health*, 22(8), 970–977. <https://doi.org/10.1080/13607863.2017.1328481>

- Margulis, E. H., Mlsna, L. M., Uppunda, A. K., Parrish, T. B., & Wong, P. C. M. (2009). Selective neurophysiologic responses to music in instrumentalists with different listening biographies. *Human Brain Mapping*, 30(1), 267–275. <https://doi.org/10.1002/hbm.20503>
- Matthews, C. G., & Klove, H. (1964). Instruction manual for the adult neuropsychology test battery. *Madison, WI: University of Wisconsin Medical School*, 36.
- Mehr, S. A., Schachner, A., Katz, R. C., & Spelke, E. S. (2013). Two randomized trials provide no consistent evidence for nonmusical cognitive benefits of brief preschool music enrichment. *PLoS ONE*, 8(12). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082007>
- Meister, I., Krings, T., Foltys, H., Boroojerdi, B., Müller, M., Töpper, R., & Thron, A. (2005). Effects of long-term practice and task complexity in musicians and nonmusicians performing simple and complex motor tasks: Implications for cortical motor organization. *Human Brain Mapping*, 25(3), 345–352. <https://doi.org/10.1002/hbm.20112>
- Menon, V., & Levitin, D. J. (2005). The rewards of music listening: response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *Neuroimage*, 28(1), 175–184. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.05.053>
- Merrett, D. L., & Wilson, S. J. (2011). *Music and neural plasticity* (N. S. Rickard & K. McFerran (eds.); Issue Lifelong Engagement with Music: Benefits for Mental Health and Well-being). Nova Science Publishers. <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.33.070203.143916>
- Metzler, M. J., Saucier, D. M., & Metz, G. A. (2013). Enriched childhood experiences moderate age-related motor and cognitive decline. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 7(JANUARY 2013), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2013.00001>
- Midorikawa, A., Kawamura, M., & Kezuka, M. (2003). Musical Alexia for Rhythm Notation: A Discrepancy Between Pitch and Rhythm. *Neurocase*, 9(3), 232–238. <https://doi.org/10.1076/neur.9.3.232.15558>
- Miles, S. A., Miranda, R. A., & Ullman, M. T. (2016). Sex Differences in Music: A Female Advantage at Recognizing Familiar Melodies. *Frontiers in Psychology*, 7, 278. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00278>
- Miller, B. L., & Cummings, J. L. (2017). *The human frontal lobes: Functions and disorders*. Guilford Publications.
- Mitchell, M. B., Cimino, C. R., Benitez, A., Brown, C. L., Gibbons, L. E., Kennison, R. F., Shirk, S. D., Atri, A., Robitaille, A., MacDonald, S. W. S., Lindwall, M., Zelinski, E. M., Willis, S. L., Schaie, K. W., Johansson, B., Dixon, R. A., Mungas, D. M., Hofer, S. M., & Piccinin, A. M. (2012). Cognitively stimulating activities: Effects on cognition across four studies with up to 21 years of longitudinal data. *Journal of Aging Research*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/461592>
- Miyake, A., & Friedman, N. P. (2012). The nature and organization of individual differences

- in executive functions: Four general conclusions. *Current Directions in Psychological Science*, 21(1), 8–14. <https://doi.org/10.1177/0963721411429458>
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., & Wager, T. D. (2000). The Unity and Diversity of Executive Functions and Their Contributions to Complex “Frontal Lobe” Tasks: A Latent Variable Analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>
- Moon, C., Cooper, R. P., & Fifer, W. P. (1993). Two-day-olds prefer their native language. *Infant Behavior and Development*, 16(4), 495–500.
- Moradzadeh, L., Blumenthal, G., & Wiseheart, M. (2015). Musical Training, Bilingualism, and Executive Function: A Closer Look at Task Switching and Dual-Task Performance. *Cognitive Science*, 39(5), 992–1020. <https://doi.org/10.1111/cogs.12183>
- Moreno, S., Bialystok, E., Barac, R., Schellenberg, E. G., Cepeda, N. J., & Chau, T. (2011). Short-Term Music Training Enhances Verbal Intelligence and Executive Function. *Psychological Science*, 22(11), 1425–1433. <https://doi.org/10.1177/0956797611416999>
- Moreno, S., & Schellenberg, E. G. (2009). Music Lessons, Pitch Processing, and G. *Psychology of Music*, 209–221. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177%2F0305735609339473>
- Morris, R. G., Davis, S., & Butcher, S. P. (1990). Hippocampal synaptic plasticity and NMDA receptors: a role in information storage? *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 329(1253), 187–204. <https://doi.org/10.1098/rstb.1990.0164>
- Morrison, M. W., Gregory, R. J., & Paul, J. J. (1979). Reliability of the Finger Tapping Test and a note on sex differences. *Perceptual and Motor Skills*, 48(1), 139–142. <https://doi.org/https://doi.org/10.2466%2Fpms.1979.48.1.139>
- Moussard, A., Bermudez, P., Alain, C., Tays, W., & Moreno, S. (2016). Life-long music practice and executive control in older adults: An event-related potential study. *Brain Research*, 1642(March), 146–153. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2016.03.028>
- Müller, N. G., & Knight, R. T. (2006). The functional neuroanatomy of working memory: Contributions of human brain lesion studies. *Neuroscience*, 139(1), 51–58. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.09.018>
- Neubauer, A. C., & Fink, A. (2009). Intelligence and neural efficiency. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 33(7), 1004–1023. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.04.001>
- Nicholson, K. G., & Kimura, D. (1996). Sex differences for speech and manual skill. *Perceptual and Motor Skills*, 82(1), 3–13. <https://doi.org/https://doi.org/10.2466%2Fpms.1996.82.1.3>
- Nisbett, R. E., Aronson, J., Blair, C., Dickens, W., Flynn, J., Halpern, D. F., & Turkheimer, E. (2012). “Intelligence: New findings and theoretical developments”: Correction to Nisbett et al. (2012). *American Psychologist*, 67(2), 129–129. <https://doi.org/10.1037/a0027240>

- Nonnemacher, K. (2014). *Working Memory in Musicians Versus Non-musicians: A Differential Study Using the N-back Task*. https://digitalcommons.cedarville.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1149&=&context=research_scholarship_symposium&=&seidir=1&referer=https%253A%252F%252Fscholar.google.es%252Fscholar%253Fhl%253Des%2526as_sdt%253D0%25252C5%2526q%253DWorking%252BMemory%252
- Nyborg, H. (2015). Sex differences across different racial ability levels: Theories of origin and societal consequences. *Intelligence*, 52, 44–62. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.intell.2015.04.005>
- Ocampo Osorio, E., Giraldo López, J. A., Montoya Arenas, D. A., & Gaviria, A. M. (2018). Reserva cognitiva y rendimiento cognitivo en adultos mayores sanos con historia de práctica musical reglada. *Medicina UPB*, 37(2), 97–106. <https://doi.org/10.18566/medupb.v37n2.a03>
- Oechslin, M. S., Van De Ville, D., Lazeyras, F., Hauert, C. A., & James, C. E. (2013). Degree of musical expertise modulates higher order brain functioning. *Cerebral Cortex*, 23(9), 2213–2224. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs206>
- Okada, B. M., & Slevc, L. R. (2016). Musical Training: Contributions to Executive Function. In M. Bunting, J. Novick, M. Dougherty, & R. W. Engle (Eds.), *An Integrative Approach to Cognitive and Working Memory Training: Perspectives from Psychology, Neuroscience, and Human Development* (pp. 1–16). Oxford University Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.31234/osf.io/2quzn>
- Okada, B. M., & Slevc, L. R. (2018). Individual differences in musical training and executive functions: A latent variable approach. *Memory & Cognition*, 46(7), 1076–1092. <https://doi.org/10.3758/s13421-018-0822-8>
- Okhrei, A., Kutsenko, T., & Makarchuk, M. (2017). Performance of working memory of musicians and non-musicians in tests with letters, digits, and geometrical shapes. *Biologija*, 62(4), 207–215. <https://doi.org/10.6001/biologija.v62i4.3408>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: the Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. https://doi.org/10.1007/978-0-387-79948-3_6053
- Otero Dadín, C., & Rodríguez Salgado, D. (2008). Rendimiento neuropsicológico en función del género y las variaciones naturales en hormonas sexuales: una revisión. *Psicología Conductual Revista Internacional de Psicología Clínica de La Salud*, 16(1), 69–81.
- Öztürk, A. H., Tasçioglu, B., Aktekin, M., Kurtoglu, Z., & Erden, I. (2002). Morphometric comparison of the human corpus callosum in professional musicians and non-musicians by using in vivo magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroradiology*, 29(1), 29–34. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811909011100>
- Pallesen, K. J., Brattico, E., Bailey, C. J., Korvenoja, A., Koivisto, J., Gjedde, A., & Carlson,

- S. (2010). Cognitive control in auditory working memory is enhanced in musicians. *PLoS ONE*, 5(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011120>
- Palmer, C. (1997). Music performance. *Annual Review of Psychology*, 48(1), 115–138. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.48.1.115>
- Pantev, C., Engelien, A., Candia, V., & Elbert, T. (2001). Representational cortex in musicians plastic alterations in response to musical practice. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 300–314. https://kops.uni-konstanz.de/bitstream/handle/123456789/11290/Representational_cortex_in_musicians.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Pantev, C., Oostenveld, R., Engelien, A., Ross, B., Roberts, L. E., & Hoke, M. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, 392(6678), 811–814. <https://doi.org/10.1038/33918>
- Pantev, C., Roberts, L. E., Schulz, M., Engelien, A., & Ross, B. (2001). Timbre-specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *NeuroReport*, 12(1), 169–174. <https://doi.org/10.1097/00001756-200101220-00041>
- Parbery-Clark, A., Skoe, E., Lam, C., & Kraus, N. (2009). Musician enhancement for speech-In-noise. *Ear and Hearing*, 30(6), 653–661. <https://doi.org/10.1097/AUD.0b013e3181b412e9>
- Parbery-Clark, A., Strait, D. L., Anderson, S., Hittner, E., & Kraus, N. (2011). Musical experience and the aging auditory system: Implications for cognitive abilities and hearing speech in noise. *PLoS ONE*, 6(5). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018082>
- Patel, A. D. (2014). Can nonlinguistic musical training change the way the brain processes speech? The expanded OPERA hypothesis. *Hearing Research*, 308(1), 98–108. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2013.08.011>
- Patel, A. D., & Iversen, J. R. (2007). The linguistic benefits of musical abilities. *Trends in Cognitive Sciences*, 11(9), 369–372. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2007.08.003>
- Patston, L. M. (2007). *Balanced Brains: An investigation of visuospatial ability and lateralization in musicians* [ResearchSpace@ Auckland]. <https://researchspace.auckland.ac.nz/bitstream/handle/2292/2367/02whole.pdf%3Fsequence%3D7>
- Patston, L. M., Corballis, M. C., Hogg, S. L., & Tippett, L. J. (2006). The Neglect of Musicians. *Psychological Science*, 17(12), 1029–1031. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01823.x>
- Patston, L. M., Hogg, S. L., & Tippett, L. J. (2007). Attention in musicians is more bilateral than in non-musicians. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition*, 12(3), 262–272. <https://doi.org/10.1080/13576500701251981>
- Patston, L. M., & Tippett, L. J. (2011). The Effect of Background Music on Cognitive

- Performance in Musicians and Nonmusicians. *Music Perception*, 29(2), 173–183. <https://doi.org/10.1525/mp.2011.29.2.173>
- Pau, S., Jahn, G., Sakreida, K., Domin, M., & Lotze, M. (2013). Encoding and recall of finger sequences in experienced pianists compared with musically naïve controls: A combined behavioral and functional imaging study. *NeuroImage*, 64(1), 379–387. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.09.012>
- Pecenka, N., Engel, A., & Keller, P. E. (2013). Neural correlates of auditory temporal predictions during sensorimotor synchronization. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7(JUL), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00380>
- Penhune, V. B., & Doyon, J. (2002). Dynamic Cortical and Subcortical Networks in Learning and Delayed Recall of Timed Motor Sequences. *The Journal of Neuroscience*, 22(4), 1397–1406. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.22-04-01397.2002>
- Penhune, V. B., Watanabe, D., & Savion-Lemieux, T. (2005). The effect of early musical training on adult motor performance: evidence for a sensitive period in motor learning. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 265–268. <https://doi.org/10.1196/annals.1360.049>
- Penhune, V. B., Zatorre, R. J., & Evans, A. C. (1998). Cerebellar contributions to motor timing: a PET study of auditory and visual rhythm reproduction. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10(6), 752–765. <https://doi.org/10.1162/089892998563149>
- Peretz, I. (1990). Processing of local and global musical information by unilateral brain-damaged patients. *Brain*, 113(4), 1185–1205. <https://doi.org/10.1093/brain/113.4.1185>
- Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, 100(1), 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2005.11.004>
- Peretz, I., & Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature Neuroscience*, 6(7), 688–691. <https://doi.org/10.1038/nn1083>
- Peretz, I., Gosselin, N., Belin, P., Zatorre, R., Plailly, J., & Tillmann, B. (2009). Music lexical networks. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 256–265. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04557.x>
- Peretz, I., Vuvan, D., Lagrois, M.-É., & Armony, J. L. (2015). Neural overlap in processing music and speech. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 370(1664), 20140090. <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0090>
- Peretz, I., & Zatorre, R. J. (2005). Brain Organization for Music Processing. *Annual Review of Psychology*, 56(1), 89–114. <https://doi.org/10.1146/annurev.psych.56.091103.070225>
- Peters, M., & Durning, B. (1979). Left-Handers and Right-Handers Compared on a Motor Task. *Journal of Motor Behavior*, 11(2), 103–111. <https://doi.org/10.1080/00222895.1979.10735178>

- Peters, M., & Servos, P. (1989). Performance of subgroups of left-handers and right-handers. *Canadian Journal of Psychology/Revue Canadienne de Psychologie*, 43(3), 341–358. <https://doi.org/10.1037/h0084226>
- Peters, M., Servos, P., & Day, R. (1990). Marked sex differences on a fine motor skill task disappear when finger size is used as covariate. *Journal of Applied Psychology*, 75(1), 87–90. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.75.1.87>
- Pietsch, S., & Jansen, P. (2012). Different mental rotation performance in students of music, sport and education. *Learning and Individual Differences*, 22(1), 159–163. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2011.11.012>
- Piro, J. M., & Ortiz, C. (2009). The effect of piano lessons on the vocabulary and verbal sequencing skills of primary grade students. *Psychology of Music*, 37(3), 325–347. <https://doi.org/10.1177/0305735608097248>
- Plichta, M. M., Gerdes, A. B. M., Alpers, G. W., Harnisch, W., Brill, S., Wieser, M. J., & Fallgatter, A. J. (2011). Auditory cortex activation is modulated by emotion: a functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) study. *Neuroimage*, 55(3), 1200–1207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2011.01.011>
- Porflitt Becerra, F. I., & Rosas-Díaz, R. R. (2019). Behind the scene: cognitive benefits of playing a musical instrument. Executive functions, processing speed, fluid intelligence and divided attention / Detrás de la escena: beneficios cognitivos de tocar un instrumento musical. Funciones ejecutivas, veloc. *Estudios de Psicología*, 40(2), 464–490. <https://doi.org/10.1080/02109395.2019.1601474>
- Porflitt Becerra, F. I., Rosas Díaz, R. R., & Rosales, M. P. G. (2018). *Entrenamiento musical y desempeño en funciones ejecutivas: Diseño, metodología y resultados preliminares de un estudio piloto*. 3(5), 9–18. <https://revistateoriadelarte.uchile.cl/index.php/atemus/article/view/50889/53310>
- Portellano, J. (2005). *Introducción a la Neuropsicología*. McGraw Hill. <http://bvc.ceaatitlan.org.gt/id/eprint/260>
- Prigatano, G. P., Gray, J. A., & Legacy, J. (2008). Predictors of quantitative and qualitative Halstead finger-tapping scores in low socioeconomic status school-age children. *Child Neuropsychology*, 14(3), 263–276. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/09297040701399288>
- Ragert, P., Schmidt, A., Altenmüller, E., & Dinse, H. R. (2004). Superior tactile performance and learning in professional pianists: evidence for meta-plasticity in musicians. *European Journal of Neuroscience*, 19(2), 473–478. <https://doi.org/10.1111/j.0953-816X.2003.03142.x>
- Ragland, J. D., Coleman, A. R., Gur, R. C., Glahn, D. C., & Gur, R. E. (2000). Sex differences in brain-behavior relationships between verbal episodic memory and resting regional

- cerebral blood flow. *Neuropsychologia*, 38(4), 451–461.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00086-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00086-X)
- Ramachandra, V., Meighan, C., & Gradzki, J. (2012). The impact of musical training on the phonological memory and the central executive: A brief report. *North American Journal of Psychology*, 14(3), 541–548. <https://cutt.ly/qgyvLLX>
- Rammsayer, T., & Altenmüller, E. (2006). Temporal Information Processing in Musicians and Nonmusicians. *Music Perception*, 24(1), 37–48. <https://doi.org/10.1525/mp.2006.24.1.37>
- Rauscher, F. H., & Hinton, S. C. (2003). Type of music training selectively influences perceptual processing. *Proceedings of the 5th Triennial ESCOM Conference, January 2003*, 89–92. <https://www.researchgate.net/publication/253864307>
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., & Ky, C. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature*, 365(6447), 611–611. <https://doi.org/10.1038/365611a0>
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., Levine, L. J., Ky, K. N., & Wright, E. L. (1994). *Music and Spatial Task Performance: A Causal Relationship*. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED390733.pdf>
- Rauscher, F. H., Shaw, G. L., Levine, L. J., Wright, E. L., Dennis, W. R., & Newcomb, R. L. (1997). Music training causes long-term enhancement of preschool children's spatial-temporal reasoning. In *Neurological Research* (Vol. 19, Issue 1, pp. 2–8). <https://doi.org/10.1080/01616412.1997.11740765>
- Rauscher, F. H., & Zupan, M. A. (2000). Classroom keyboard instruction improves kindergarten children's spatial-temporal performance: A field experiment. *Early Childhood Research Quarterly*, 15(2), 215–228. [https://doi.org/10.1016/S0885-2006\(00\)00050-8](https://doi.org/10.1016/S0885-2006(00)00050-8)
- Regnault, P., Bigand, E., & Besson, M. (2001). Event-related brain potentials show top-down and bottom-up modulations of musical expectations. *J. Cogn. Neurosci*, 13, 241–255.
- Reilly, D., Neumann, D. L., & Andrews, G. (2016). Sex and sex-role differences in specific cognitive abilities. *Intelligence*, 54, 147–158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.intell.2015.12.004>
- Reitan, R. M. (1958). Validity of the Trail Making Test as an Indicator of Organic Brain Damage. *Perceptual and Motor Skills*, 8(3), 271–276. <https://doi.org/10.2466/pms.1958.8.3.271>
- Rey, A. (1964). Rey auditory verbal learning test (RAVLT). *L'Examen Clinique En Psychologie*. Paris: PUF.
- Rey, A. (2009). REY. Test de copia de una figura compleja. *TEA Ediciones, Madrid*.
- Rickard, N. S., Vasquez, J. T., Murphy, F., Gill, A., & Toukhsati, S. R. (2010). Benefits of a classroom based instrumental music program on verbal memory of primary school children: a longitudinal study. *Australian Journal of Music Education*, 1, 36–47.

- <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ912414.pdf>
- Roberts, A. C., Robbins, T. W., & Weiskrantz, L. E. (1998). *The prefrontal cortex: executive and cognitive functions*. Oxford University Press.
- Robertson, I. H. (2014). A right hemisphere role in cognitive reserve. *Neurobiology of Aging*, 35(6), 1375–1385. <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2013.11.028>
- Roden, I., Könen, T., Bongard, S., Frankenberg, E., Friedrich, E. K., & Kreutz, G. (2014). Effects of Music Training on Attention, Processing Speed and Cognitive Music Abilities-Findings from a Longitudinal Study. *Applied Cognitive Psychology*, 28(4), 545–557. <https://doi.org/10.1002/acp.3034>
- Roden, I., Kreutz, G., & Bongard, S. (2012). Effects of a school-based instrumental music program on verbal and visual memory in primary school children: A longitudinal study. *Frontiers in Psychology*, 3(DEC), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00572>
- Rodrigues, A. C., Loureiro, M. A., & Caramelli, P. (2013). Long-term musical training may improve different forms of visual attention ability. *Brain and Cognition*, 82(3), 229–235. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2013.04.009>
- Rodrigues, A. C., Loureiro, M., & Caramelli, P. (2014). Visual memory in musicians and non-musicians. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(JUNE), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00424>
- Roivainen, E. (2011). Gender differences in processing speed: A review of recent research. *Learning and Individual Differences*, 21(2), 145–149. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2010.11.021>
- Roosendaal, S. D., Geurts, J. J. G., Vrenken, H., Hulst, H. E., Cover, K. S., Castelijns, J. A., Pouwels, P. J. W., & Barkhof, F. (2009). Regional DTI differences in multiple sclerosis patients. *NeuroImage*, 44(4), 1397–1403. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.10.026>
- Rüber, T., Lindenbergh, R., & Schlaug, G. (2015). Differential adaptation of descending motor tracts in musicians. *Cerebral Cortex*, 25(6), 1490–1498. <https://doi.org/10.1093/cercor/bht331>
- Ruff, R. M., & Parker, S. B. (1993). Gender- and Age-Specific Changes in Motor Speed and Eye-Hand Coordination in Adults: Normative Values for the Finger Tapping and Grooved Pegboard Tests. *Perceptual and Motor Skills*, 76(3_suppl), 1219–1230. <https://doi.org/10.2466/pms.1993.76.3c.1219>
- Ruthsatz, J., Detterman, D., Griscom, W. S., & Cirullo, B. A. (2008). Becoming an expert in the musical domain: It takes more than just practice. *Intelligence*, 36(4), 330–338. <https://doi.org/10.1016/j.intell.2007.08.003>
- Saczynski, J. S., Jonsdottir, M. K., Sigurdsson, S., Eiríksdóttir, G., Jonsson, P. V., García, M. E., Kjartansson, O., Van Buchem, M. A., Gudnason, V., & Launer, L. J. (2008). White

- matter lesions and cognitive performance: The role of cognitively complex leisure activity. *Journals of Gerontology - Series A Biological Sciences and Medical Sciences*, 63(8), 848–854. <https://doi.org/10.1093/gerona/63.8.848>
- Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Takino, R., Tamada, T., Iwata, N. K., & Nielsen, M. (1999). Neural Representation of a Rhythm Depends on Its Interval Ratio. *The Journal of Neuroscience*, 19(22), 10074–10081. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.19-22-10074.1999>
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature Neuroscience*, 14(2), 257. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nn.2726>
- Sammler, D., Koelsch, S., & Friederici, A. D. (2011). Are left fronto-temporal brain areas a prerequisite for normal music-syntactic processing? *Cortex*, 47(6), 659–673. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.tics.2007.08.003>
- Santos-Luiz, C., Coimbra, D., & Fernandes, C. (2009). *Musical learning and cognitive performance*. 1–6. <https://cutt.ly/ngybv5d>
- Scarmeas, N., Zarahn, E., Anderson, K. E., Habeck, C. G., Hilton, J., Flynn, J., Marder, K. S., Bell, K. L., Sackeim, H. A., Van Heertum, R. L., Moeller, J. R., & Stern, Y. (2003). Association of life activities with cerebral blood flow in Alzheimer disease: Implications for the cognitive reserve hypothesis. *Archives of Neurology*, 60(3), 359–365. <https://doi.org/10.1001/archneur.60.3.359>
- Schaal, N. K., Kretschmer, M., Keitel, A., Krause, V., Pfeifer, J., & Pollok, B. (2017). The significance of the right dorsolateral prefrontal cortex for pitch memory in non-musicians depends on baseline pitch memory abilities. *Frontiers in Neuroscience*, 11(DEC), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00677>
- Schellenberg, E. G. (2004). Music lessons enhance IQ. *Psychological Science*, 15(8), 511–514. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2004.00711.x>
- Schellenberg, E. G. (2006). Long-term positive associations between music lessons and IQ. *Journal of Educational Psychology*, 98(2), 457–468. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.98.2.457>
- Schellenberg, E. G. (2011). Examining the association between music lessons and intelligence. *British Journal of Psychology*, 102(3), 283–302. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.2010.02000.x>
- Schellenberg, E. G. (2016). Music Training and Nonmusical Abilities. *The Oxford Handbook of Music Psychology*, August 2017, 415–428. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780198722946.013.28>
- Schellenberg, E. G., Nakata, T., Hunter, P. G., & Tamoto, S. (2007). Exposure to music and cognitive performance: tests of children and adults. *Psychology of Music*, 35(1), 5–19.

- <https://doi.org/10.1177/0305735607068885>
- Schellenberg, E. G., & W. Weiss, M. (2013). Music and Cognitive Abilities. In *The Psychology of Music* (Issue December, pp. 499–550). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381460-9.00012-2>
- Scheurich, R., Zamm, A., & Palmer, C. (2018). Tapping into rate flexibility: Musical training facilitates synchronization around spontaneous production rates. *Frontiers in Psychology*, 9(APR), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.00458>
- Schlaug, G. (2005). Effects of Music Training on the Child's Brain and Cognitive Development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060(1), 219–230. <https://doi.org/10.1196/annals.1360.015>
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., Staiger, J. F., & Steinmetz, H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 33(8), 1047–1055. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(95\)00045-5](https://doi.org/10.1016/0028-3932(95)00045-5)
- Schlaug, G., Jancke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267(5198), 699–701. <https://doi.org/10.1126/science.7839149>
- Schlaug, G., Lee, L. H. L., Thangaraj, V., Edelman, R. R., & Warach, S. (1998). Macrostructural adaptation of the cerebellum in musicians. *Society for Neuroscience*, 24(842.7).
- Schmidt, S. L., Oliveira, R. M., Krahe, T. E., & Filgueiras, C. C. (2000). The effects of hand preference and gender on finger tapping performance asymmetry by the use of an infra-red light measurement device. *Neuropsychologia*, 38(5), 529–534. [https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(99\)00120-7](https://doi.org/10.1016/S0028-3932(99)00120-7)
- Schmithorst, V. J., & Wilke, M. (2002). Differences in white matter architecture between musicians and non-musicians: A diffusion tensor imaging study. *Neuroscience Letters*, 321(1–2), 57–60. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(02\)00054-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(02)00054-X)
- Schneider, C. E. (2018). Music Training as a Neuro-Cognitive Protector for Brain Aging: Cognitive and Neuropsychological Profiles in Professional Musicians. *ProQuest Dissertations and Theses*, 348. <https://doi.org/https://doi.org/10.13023/ETD.2018.172>
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H. G., Specht, H. J., Gutschalk, A., & Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5(7), 688–694. <https://doi.org/10.1038/nn871>
- Schneider, P., Sluming, V., Roberts, N., Scherg, M., Goebel, R., Specht, H. J., Dosch, H. G., Bleeck, S., Stippich, C., & Rupp, A. (2005). Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nature Neuroscience*, 8(9), 1241–1247. <https://doi.org/10.1038/nn1530>
- Schön, D., Anton, J. L., Roth, M., & Besson, M. (2002). An fMRI study of music sight-reading.

- Neuroreport*, 13(17), 2285–2289. <https://doi.org/10.1097/01.wnr.0000044224.79663.f5>
- Seinfeld, S., Figueroa, H., Ortiz-Gil, J., & Sanchez-Vives, M. V. (2013). Effects of music learning and piano practice on cognitive function, mood and quality of life in older adults. *Frontiers in Psychology*, 4(NOV), 1–13. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00810>
- Sergent, J., Zuck, E., Terriah, S., & MacDonald, B. (1992). Distributed neural network underlying musical sight-reading and keyboard performance. *Science*, 257(5066), 106–109. <https://doi.org/10.1126/science.1621084>
- Shahin, A. J., Bosnyak, D. J., Trainor, L. J., & Roberts, L. E. (2003). Enhancement of Neuroplastic P2 and N1c Auditory Evoked Potentials in Musicians. *The Journal of Neuroscience*, 23(13), 5545–5552. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.23-13-05545.2003>
- Shahin, A. J., Roberts, L. E., Chau, W., Trainor, L. J., & Miller, L. M. (2008). Music training leads to the development of timbre-specific gamma band activity. *NeuroImage*, 41(1), 113–122. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2008.01.067>
- Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences*, 298(1089), 199–209. <https://doi.org/10.1098/rstb.1982.0082>
- Sims, S. E. G., Engel, L., Hammert, W. C., & Elfar, J. C. (2015). Hand Sensibility, Strength, and Laxity of High-Level Musicians Compared to Nonmusicians. *The Journal of Hand Surgery*, 40(10), 1996–2002.e5. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2015.06.009>
- Singh, N. C., & Balasubramanian, H. (2018). The Brain on Music. *Resonance*, 23(3), 299–308. <https://doi.org/10.1007/s12045-018-0619-x>
- Sittiprapaporn, W. (2012). The Musician's Brain. *Journal of Biological Sciences*, 12(7), 367–375. <https://doi.org/10.3923/jbs.2012.367.375>
- Slater, J., Azem, A., Nicol, T., Swedenborg, B., & Kraus, N. (2017). Variations on the theme of musical expertise: cognitive and sensory processing in percussionists, vocalists and non-musicians. *European Journal of Neuroscience*, 45(7), 952–963. <https://doi.org/10.1111/ejn.13535>
- Slevc, L. R., Davey, N. S., Buschkuhl, M., & Jaeggi, S. M. (2016). Tuning the mind: Exploring the connections between musical ability and executive functions. *Cognition*, 152, 199–211. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2016.03.017>
- Sluming, V. A., Barrick, T., Howard, M., Cezayirli, E., Mayes, A., & Roberts, N. (2002). Voxel-Based Morphometry Reveals Increased Gray Matter Density in Broca's Area in Male Symphony Orchestra Musicians. *NeuroImage*, 17(3), 1613–1622. <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1288>
- Sluming, V. A., Brooks, J., Howard, M., Downes, J. J., & Roberts, N. (2007). Broca's Area Supports Enhanced Visuospatial Cognition in Orchestral Musicians. *Journal of*

- Neuroscience*, 27(14), 3799–3806. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0147-07.2007>
- Sluming, V. A., Page, D., Downe, J., Denby, C., Mayes, A., & Roberts, N. (2005). *Increased Hippocampal Volumes and Enhanced Visual Memory in Musicians*. 13, 2005. <https://www.semanticscholar.org/paper/Increased-Hippocampal-Volumes-and-Enhanced-Visual-Sluming-Page/473181c48458c2a675131d67e6fc4810aeee5498?p2df>
- Small, B. J., Dixon, R. A., McArdle, J. J., & Grimm, K. J. (2012). Do changes in lifestyle engagement moderate cognitive decline in normal aging? Evidence from the Victoria Longitudinal Study. *Neuropsychology*, 26(2), 144–155. <https://doi.org/10.1037/a0026579>
- Small, D. M., Zatorre, R. J., Dagher, A., Evans, A. C., & Jones-Gotman, M. (2001). Changes in brain activity related to eating chocolate: from pleasure to aversion. *Brain*, 124(9), 1720–1733. <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/brain/124.9.1720>
- Soria-Urios, G., Duque, P., & García-Moreno, J. M. (2011). Música y cerebro: fundamentos neurocientíficos y trastornos musicales. *Revista de Neurología*, 52(1), 45–55. <http://jordijauset.es/wp-content/uploads/2013/08/e80155b0988f667bffff8450ffff8709.pdf>
- Spiegel, M. F., & Watson, C. S. (1984). Performance On Frequency-discrimination Tasks By Musicians And Nonmusicians. *Journal of the Acoustical Society of America*, 76(6), 1690–1695. <https://doi.org/10.1121/1.391605>
- Squire, L. R. (1997). Amnesia, memory and brain systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 352(1362), 1663–1673. <https://doi.org/10.1098/rstb.1997.0148>
- Steele, C. J., Bailey, J. A., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2013). Early Musical Training and White-Matter Plasticity in the Corpus Callosum: Evidence for a Sensitive Period. *Journal of Neuroscience*, 33(3), 1282–1290. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.3578-12.2013>
- Stern, Y. (2009). Cognitive reserve. *Neuropsychologia*, 47(10), 2015–2028. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2009.03.004>
- Stewart, L. (2008). Do musicians have different brains? *Clinical Medicine, Journal of the Royal College of Physicians of London*, 8(3), 304–308. <https://doi.org/10.7861/clinmedicine.8-3-304>
- Stoesz, B. M., Jakobson, L. S., Kilgour, A. R., & Lewycky, S. T. (2007). Local Processing Advantage in Musicians: Evidence from Disembedding and Constructional Tasks. *Music Perception*, 25(2), 153–165. <https://doi.org/10.1525/mp.2007.25.2.153>
- Stoesz, B. M., Jakobson, L. S., Kilgour, A. R., & Lewycky, S. T. (2010). UNIVERSITY OF CALIFORNIA PRESS. *Mankind*, 13(3), 293–293. <https://doi.org/10.1111/j.1835-9310.1982.tb01239.x>
- Stoklasa, J., Liebermann, C., & Fischinger, T. (2012). Timing and synchronization of professional musicians: A comparison between orchestral brass and string players. *12th*

- International Confernece on Music Perception and Cognition*, 12(1999), 2005.
http://icmpc-escom2012.web.auth.gr/files/papers/957_Proc.pdf
- Strait, D. L., Chan, K., Ashley, R., & Kraus, N. (2012). Specialization among the specialized: Auditory brainstem function is tuned in to timbre. *Cortex*, 48(3), 360–362.
<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2011.03.015>
- Strong, J. V., & Midden, A. (2020). Cognitive differences between older adult instrumental musicians: Benefits of continuing to play. *Psychology of Music*, 48(1), 67–83.
<https://doi.org/10.1177/0305735618785020>
- Strong, J. V., & Mast, B. T. (2019). The cognitive functioning of older adult instrumental musicians and non-musicians. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 26(3), 367–386.
<https://doi.org/10.1080/13825585.2018.1448356>
- Suárez, L., Elangovan, S., & Au, A. (2016). Cross-sectional study on the relationship between music training and working memory in adults. *Australian Journal of Psychology*, 68(1), 38–46. <https://doi.org/10.1111/ajpy.12087>
- Talamini, F., Carretti, B., & Grassi, M. (2016). The Working Memory of Musicians and Nonmusicians. *Music Perception*, 34(2), 183–191.
<https://doi.org/10.1525/mp.2016.34.2.183>
- Tanaka, S., & Kirino, E. (2018). The parietal opercular auditory-sensorimotor network in musicians: A resting-state fMRI study. *Brain and Cognition*, 120(October 2017), 43–47.
<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2017.11.001>
- Taylor, A. C., & Dewhurst, S. A. (2017). Investigating the influence of music training on verbal memory. *Psychology of Music*, 45(6), 814–820.
<https://doi.org/10.1177/0305735617690246>
- Tekin, S., & Cummings, J. L. (2002). Frontal–subcortical neuronal circuits and clinical neuropsychiatry: an update. *Journal of Psychosomatic Research*, 53(2), 647–654.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-3999\(02\)00428-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0022-3999(02)00428-2)
- Tervaniemi, M. (2009). Musicians-same or different? *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 151–156. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04591.x>
- Tervaniemi, M., Just, V., Koelsch, S., Widmann, A., & Schröger, E. (2005). Pitch discrimination accuracy in musicians vs nonmusicians: An event-related potential and behavioral study. *Experimental Brain Research*, 161(1), 1–10.
<https://doi.org/10.1007/s00221-004-2044-5>
- Thivard, L., Belin, P., Zilbovicius, M., Poline, J.-B., & Samson, Y. (2000). A cortical region sensitive to auditory spectral motion. *Neuroreport*, 11(13), 2969–2972.
https://journals.lww.com/neuroreport/Abstract/2000/09110/A_cortical_region_sensitive_to_auditory_spectral.28.aspx
- Thorne, S. A. (2015). *The Influence of piano training on cognitive and neural functioning in*

- older adults* [University of Georgia].
https://getd.libs.uga.edu/pdfs/thorne_sarah_a_201508_ms.pdf
- Tierney, A. T., Bergeson, T. R., & Pisoni, D. B. (2008). Effects of Early Musical Experience on Auditory Sequence Memory. *Empirical Musicology Review*, 3(4), 178–186.
<https://doi.org/10.18061/1811/35989>
- Tiffin, J. (1968). Purdue pegboard examiner manual. *Chicago: Science Research Associates*.
- Tiffin, Joseph, & Asher, E. J. (1948). The Purdue Pegboard: norms and studies of reliability and validity. *Journal of Applied Psychology*, 32(3), 234.
- Tillmann, B., Janata, P., & Bharucha, J. J. (2003). Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Cognitive Brain Research*, 16(2), 145–161.
[https://doi.org/10.1016/S0926-6410\(02\)00245-8](https://doi.org/10.1016/S0926-6410(02)00245-8)
- Tirapu Ustárrroz, J., García Molina, A., Ríos-Lago, M., & Ardila, A. (2012). Neuropsicología de la corteza prefrontal y las funciones ejecutivas. *Barcelona: Viguera*.
- Trainor, L. J. (2008). The neural roots of music. *Nature*, 453(7195), 598–599.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1038/453598a>
- Trainor, L. J., & Trehub, S. E. (1992). A comparison of infants' and adults' sensitivity to Western musical structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 18(2), 394–402. <https://doi.org/10.1037/0096-1523.18.2.394>
- Tramo, M. J. (2001). Music of the hemispheres. *Science*, 291(5501), 54–56.
<https://doi.org/10.1126/science.10.1126/SCIENCE.1056899>
- Travis, F., Harung, H. S., & Lagrosen, Y. (2011). Moral development, executive functioning, peak experiences and brain patterns in professional and amateur classical musicians: Interpreted in light of a Unified Theory of Performance. *Consciousness and Cognition*, 20(4), 1256–1264. <https://doi.org/10.1016/j.concog.2011.03.020>
- Trehub, S. E. (2003). The developmental origins of musicality. *Nature Neuroscience*, 6(7), 669–673. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038/nn1084>
- Tucker, T. L. (2019). *Role of Spatial Ability in Musical Instrument Choice : Implications for Music Education* [University of Central Florida].
<https://stars.library.ucf.edu/honorstheses/602>
- Tulving, E., & Markowitsch, H. J. (1998). Episodic and declarative memory: Role of the hippocampus. *Hippocampus*, 8(3), 198–204. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-1063\(1998\)8:3<198::AID-HIPO2>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-1063(1998)8:3<198::AID-HIPO2>3.0.CO;2-G)
- Ullman, M. T., Miranda, R. A., & Travers, M. L. (2008). Sex differences in the neurocognition of language. In *Sex differences in the brain from genes to behavior*. Oxford University Press New York, NY.
- Uttal, D. H., Meadow, N. G., Tipton, E., Hand, L. L., Alden, A. R., Warren, C., & Newcombe, N. S. (2013). The malleability of spatial skills: A meta-analysis of training studies.

- Psychological Bulletin*, 139(2), 352–402. <https://doi.org/10.1037/a0028446>
- Vaqué-Alcázar, L., Sala-Lluch, R., Valls-Pedret, C., Vidal-Piñeiro, D., Fernández-Cabello, S., Bargalló, N., Ros, E., & Bartrés-Faz, D. (2017). Differential age-related gray and white matter impact mediates educational influence on elders' cognition. *Brain Imaging and Behavior*, 11(2), 318–332. <https://doi.org/10.1007/s11682-016-9584-8>
- Vaquero, L., Hartmann, K., Ripollés, P., Rojo, N., Sierpowska, J., François, C., Càmarà, E., van Vugt, F. T., Mohammadi, B., Samii, A., Münte, T. F., Rodríguez-Fornells, A., & Altenmüller, E. (2016). Structural neuroplasticity in expert pianists depends on the age of musical training onset. *NeuroImage*, 126, 106–119. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.11.008>
- Verheul, M. H. G., & Geuze, R. H. (2004). Bimanual coordination and musical experience: The role of intrinsic dynamics and behavioral information. *Motor Control*, 8(3), 270–291. <https://doi.org/10.1123/mcj.8.3.270>
- Vignolo, L. A. (2003). Music agnosia and auditory agnosia: Dissociations in stroke patients. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 50–57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1196/annals.1284.005>
- Vollmann, H., Ragert, P., Conde, V., Villringer, A., Classen, J., Witte, O. W., & Steele, C. J. (2014). Instrument specific use-dependent plasticity shapes the anatomical properties of the corpus callosum: a comparison between musicians and non-musicians. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, 8(JULY), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2014.00245>
- Voyer, D., & Jansen, P. (2016). Sex differences in chronometric mental rotation with human bodies. *Psychological Research*, 80(6), 974–984. <https://doi.org/10.1007/s00426-015-0701-x>
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. P. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin*, 117(2), 250–270. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.117.2.250>
- Vyspinska, N. (2019). Musicians Outperform Non-Musicians in English Language Vocabulary Uptake and Listening Comprehension Tasks. *Românească Pentru Educație Multidimensională*, 11(2), 296–309.
- Wallin, N. L., Merker, B., & Brown, S. (2001). *The origins of music*. MIT press.
- Wang, S., & Ku, Y. (2018). The causal role of right dorsolateral prefrontal cortex in visual working memory. *Acta Psychologica Sinica*, 50(7), 727. <https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2018.00727>
- Warren, J. D., Uppenkamp, S., Patterson, R. D., & Griffiths, T. D. (2003). Separating pitch chroma and pitch height in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(17), 10038–10042. <https://doi.org/10.1073/pnas.1730682100>
- Warren, J. E., Wise, R. J. S., & Warren, J. D. (2005). Sounds do-able: Auditory-motor

- transformations and the posterior temporal plane. *Trends in Neurosciences*, 28(12), 636–643. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2005.09.010>
- Watanabe, D., Savion-Lemieux, T., & Penhune, V. B. (2007). The effect of early musical training on adult motor performance: evidence for a sensitive period in motor learning. *Experimental Brain Research*, 176(2), 332–340. <https://doi.org/10.1007/s00221-006-0619-z>
- Wechsler, D. (1997). *Wechsler memory scale (WMS-III)* (Vol. 14). Psychological corporation San Antonio, TX.
- Wechsler, D. (2012). *WAIS-IV. Escala de inteligencia de Wechsler para adultos IV. Manual de aplicación y corrección*. Madrid: NCS Pearson. Inc.
- Weiss, A. H., Biron, T., Lieder, I., Granot, R. Y., & Ahissar, M. (2014). Spatial vision is superior in musicians when memory plays a role. *Journal of Vision*, 14(9), 1–12. <https://doi.org/10.1167/14.9.18>
- Weiss, L. G., Saklofske, D. H., Holdnack, J. A., & Prifitera, A. (2016). WISC-V: Advances in the assessment of intelligence. *San Diego, CA*.
- Wilde, E. A., Chu, Z., Bigler, E. D., Hunter, J. V., Fearing, M. A., Hanten, G., Newsome, M. R., Scheibel, R. S., Li, X., & Levin, H. S. (2006). Diffusion tensor imaging in the corpus callosum in children after moderate to severe traumatic brain injury. *Journal of Neurotrauma*, 23(10), 1412–1426. <https://doi.org/10.1089/neu.2006.23.1412>
- Wilson, B. A., Evans, J. J., Alderman, N., Burgess, P. W., & Emslie, H. (1997). Behavioural assessment of the dysexecutive syndrome. *Methodology of Frontal and Executive Function*, 239, 250. http://www.sxf.uevora.pt/wp-content/uploads/2013/03/Munir_2003.pdf#page=38
- Wilson, R. S., Barnes, L. L., & Bennett, D. A. (2003). Assessment of Lifetime Participation in Cognitively Stimulating Activities. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 25(5), 634–642. <https://doi.org/10.1076/jcen.25.5.634.14572>
- Wilson, S. J. (2013). The benefits of music for the brain. *Session Q Conference Article*, 140–148. <http://www.creativityaustralia.org.au/wp-content/uploads/Sarah-Wilson-Benefits-of-Music.pdf>
- Wilson, S. J., Pressing, J. L., & Wales, R. J. (2002). Modelling rhythmic function in a musician post-stroke. *Neuropsychologia*, 40(8), 1494–1505. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0028-3932\(01\)00198-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0028-3932(01)00198-1)
- Woodcock, E. A., Greenwald, M. K., Khatib, D., Diwadkar, V. A., & Stanley, J. A. (2019). Pharmacological stress impairs working memory performance and attenuates dorsolateral prefrontal cortex glutamate modulation. *NeuroImage*, 186, 437–445. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.11.017>
- Yang, H., Lu, J., Gong, D., & Yao, D. (2016). How do musical tonality and experience affect

- visual working memory? *NeuroReport*, 27(2), 94–98.
<https://doi.org/10.1097/WNR.0000000000000503>
- Zafranas, N. (2004). Piano keyboard training and the spatial-temporal development of young children attending kindergarten classes in Greece. *Early Child Development and Care*, 174(2), 199–211. <https://doi.org/10.1080/0300443032000153534>
- Zatorre, R. J. (1984). Musical perception and cerebral function: A critical review. *Music Perception*, 2(2), 196–221. <https://doi.org/https://doi.org/10.2307/40285291>
- Zatorre, R. J., Belin, P., & Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in Cognitive Sciences*, 6(1), 37–46.
[https://doi.org/10.1016/S1364-6613\(00\)01816-7](https://doi.org/10.1016/S1364-6613(00)01816-7)
- Zatorre, R. J., Chen, J. L., & Penhune, V. B. (2007). When the brain plays music: Auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience*, 8(7), 547–558. <https://doi.org/10.1038/nrn2152>
- Zatorre, R. J., Evans, A. C., & Meyer, E. (1994). Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *Journal of Neuroscience*, 14(4), 1908–1919.
<https://doi.org/10.1523/jneurosci.14-04-01908.1994>
- Zatorre, R. J., & Halpern, A. R. (2005). Mental concerts: musical imagery and auditory cortex. *Neuron*, 47(1), 9–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.06.013>
- Zatorre, R. J., & Salimpoor, V. N. (2013). From perception to pleasure: Music and its neural substrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(SUPPL2), 10430–10437. <https://doi.org/10.1073/pnas.1301228110>
- Zatorre, R. J., & Samson, S. (1991). Role of the right temporal neocortex in retention of pitch in auditory short-term memory. *Brain*, 114(6), 2403–2417.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1093/brain/114.6.2403>
- Zhan, L., Guo, D., Chen, G., & Yang, J. (2018). Effects of repetition learning on associative recognition over time: Role of the hippocampus and prefrontal cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12(July), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00277>
- Zuk, J., Benjamin, C., Kenyon, A., & Gaab, N. (2014). Behavioral and Neural Correlates of Executive Functioning in Musicians and Non-Musicians. *PLoS ONE*, 9(6), e99868.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099868>





ANEXO



9. ANEXO

GLOSARIO DE TÉRMINOS MUSICALES

- ♪ **Acorde:** conjunto de tres o más notas que suenan al mismo tiempo.
- ♪ **Armonía:** sucesión simultánea de múltiples notas.
- ♪ **Clave musical:** signo que se coloca al principio de un pentagrama para referenciar la altura de las notas.
- ♪ **Compás:** organización grupal de los sonidos en unidades de tiempo.
- ♪ **Contorno:** pauta de subidas y bajadas de los tonos de una melodía.
- ♪ **Disonancia:** tensión entre notas que suenan simultáneamente, desagradable al oído en un contexto tradicional.
- ♪ **Duración:** refleja la permanencia de un sonido en el tiempo.
- ♪ **Escala:** sucesión de sonidos organizados mediante un sistema jerárquico.
- ♪ **Intensidad:** cualidad del sonido que nos permite diferenciar si es fuerte o débil en relación con otro.
- ♪ **Intervalo:** diferencia de altura entre dos notas consecutivas.
- ♪ **Melodía:** sucesión lineal de notas musicales que el oyente percibe como una entidad única.
- ♪ **Modalidad:** reglas de organización de los intervalos de una escala.
- ♪ **Ritmo:** sucesión regular de sonidos débiles y fuertes.
- ♪ **Tempo:** velocidad a la que se interpretan las obras musicales.
- ♪ **Timbre:** cualidad del sonido que nos permite distinguir entre dos instrumentos que producen la misma nota.
- ♪ **Tono:** cualidad que nos permite diferenciar la altura de un sonido: agudo (alto) o grave (bajo).